

**SKRIPSI – 141501**

**Pengaruh Penambahan Katalis Rhodium (Rh) dalam Bahan Bakar Biodiesel dari Biji Karet Terhadap Performa dan Pembakaran Motor Diesel**

**Benjamin Fernando UGT Harianja**  
**04211440000049**

**Dosen Pembimbing 1 :**  
**Dr. I. Made Ariana, ST., MT.**

**Dosen Pembimbing 2 :**  
**Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**UNDERGRADUATE THESIS – 141501**

**The Effect of Adding Rhodium (Rh) Catalyst in Biodiesel Fuels From Rubber Seed Oil on Diesel Engine Performance and Combustion Process**

**Benjamin Fernando UGT Harianja**  
**04211440000049**

**Supervisor 1 :**  
**Dr. I. Made Ariana, ST., MT.**

**Supervisor 2 :**  
**Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING**  
**FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA**  
**2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### **Pengaruh Penambahan Katalis Rhodium (Rh) Dalam Bahan Bakar Biodiesel Dari Biji Karet Terhadap Performa dan Pembakaran Motor Diesel**

#### **Skripsi**

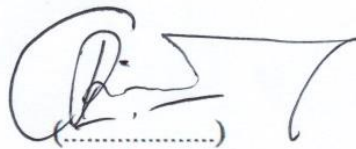
Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

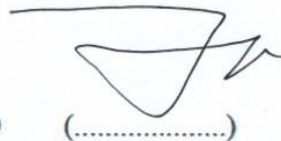
**Benjamin Fernando UGT Harianja**  
**NRP. 0421144000049**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Dr. I. Made Ariana, ST., MT.  
NIP: 197106101995121001

  
(.....)

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001

  
(.....)

Surabaya  
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### **Pengaruh Penambahan Katalis Rhodium (Rh) Dalam Bahan Bakar Biodiesel Dari Biji Karet Terhadap Performa dan Pembakaran Motor Diesel**

#### **Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem  
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh:

**Benjamin Fernando UGT Harianja**  
**NRP. 0421144000049**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT**  
**NIP. 19770802 2008 01 1007**

Surabaya  
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



# **Pengaruh Penambahan Katalis Rhodium (Rh) dalam Bahan Bakar Biodiesel dari Biji Karet Terhadap Performa dan Pembakaran Motor Diesel**

Nama Mahasiswa : Benjamin Fernando UGT Harianja  
NRP : 04211440000049  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing 1 : Dr. I. Made Ariana, ST., MT.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

## **Abstrak**

Penelitian ini menjelaskan eksperimen tentang penambahan katalis rhodium (rh) dalam bahan bakar biodiesel biji karet terhadap performa dan pembakaran motor diesel. Telah diteliti pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bahan bakar biodiesel biji karet (B20) memiliki performa motor diesel yang menurun jika dibandingkan dengan performa motor diesel dengan menggunakan bahan bakar HSD, dan telah diteliti juga sebelumnya tentang penambahan katalis rhodium (rh) pada saat proses pembakaran terhadap motor diesel berbahan bakar HSD yang dapat meningkatkan performa sebuah motor diesel. Pada penelitian ini telah dilakukan sebuah pencampuran katalis rhodium kedalam bahan bakar B20 dengan metode homogen, sehingga didapatkan variable bahan bakar B20 Rh. Hasil pembahasan dari penelitian eksperimen ini menyatakan bahwa performa dari motor diesel berbahan bakar B20 Rh, meningkat dibandingkan dengan bahan bakar HSD yang dilihat dari segi daya, efisiensi thermal dan sfoc yang lebih irit. Untuk dari hasil proses pembakaran motor diesel dilihat dari 3 variabel bahan bakar yakni B20, B20 Rh dan HSD, *trendline* dari max pressure tidak terlalu jauh berbeda. Untuk rate of heat release bahan bakar HSD dibawah, untuk ignition delay bahan bakar HSD yang paling pendek waktunya dan untuk knocking bahan bakar HSD yang paling kecil nilainya.

**Keywords** : Biodiesel, Minyak Biji Karet, Rhodium, Performa Motor, Proses Pembakaran.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

# **The Effect of Adding Rhodium (Rh) Catalyst in Biodiesel Fuels from Rubber Seed Oil on Diesel Engine Performance and Combustion Process**

Student Name : Benjamin Fernando UGT Harianja  
NRP : 04211440000049  
Departement : Marine Engineering  
Academic Supervisor 1 : Dr. I. Made Ariana, ST., MT.  
Academic Supervisor 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

## **Abstract**

This study describes an experiment about the addition of rhodium (rh) catalyst in rubber seed biodiesel fuel to the performance and combustion of diesel motors. It has been investigated in previous studies which stated that rubber seed biodiesel fuel (B20) has a decreased diesel motor performance compared to the performance of a diesel motor using HSD fuel, and has also been studied before about the addition of rhodium (rh) catalyst during the combustion process to HSD-fueled diesel engines that can improve the performance of a diesel motor. In this study a mixture of rhodium catalyst has been carried into B20 fuel with a homogeneous method, so that the B20 Rh fuel variable is obtained. The results of the discussion from this experimental study stated that the performance of a B20 Rh diesel motor was increased compared to HSD fuel which was seen in terms of power, more efficient thermal and SFC efficiency. For the results of the diesel motor combustion process seen from 3 fuel variables namely B20, B20 Rh and HSD, the trendline of max pressure is not too different. For the HSD fuel rate of heat release below, for the HSD fuel ignition delay the shortest time and for the least value of the HSD fuel knocking.

**Keywords :** Biodiesel, Rubber Seed Oil, Rhodium, Engine Performances, Combustion Process.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur sebesar – besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat karunia dan bimbinganNya sehingga skripsi dengan judul **“PENAMBAHAN KATALIS RHODIUM (Rh) DALAM BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI BIJI KARET TERHADAP PERFORMA DAN PEMBAKARAN MOTOR DIESEL”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar untuk memenuhi syarat demi mendapatkan gelar sarjana penulis

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak P. Richad Harianja, Ibu Deriana Ully Sitompul, selaku orang tua dari penulis yang selalu senantiasa mendukung penulis dalam bentuk semangat, doa maupun material
2. Maria, Ruth, Pareme dan Joseph selaku kakak dan abang dari penulis yang selalu senantiasa mendoakan dan mendukung penulis
3. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah semangat, arahan, masukan, dan ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
5. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama menjalani perkuliahan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
6. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant dan rekan – rekan Lab MPP yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
7. Bapak Samino selaku pengusaha pengepresan di Cilacap yang telah membantu dalam proses keperluan eksperimen
8. Bapak Jaya dari PT. Solar Industri Dinar Energy yang telah menyediakan bahan bakar Solar HSD untuk keperluan eksperimen
9. M. Reza Fahlevi dan Kukuh Gemilang selaku rekan tim dalam pembuatan biodiesel minyak biji karet
10. Rizki, Hans, Geilano, Samuel, Dany, Bobby dan Ezra selaku teman kontrakan yang selalu saling mendukung dalam perkuliahan dan menjadi teman hidup penulis selama berada di Surabaya
11. Teman – teman Ikatan Alumni St. Thomas 1 (Ikasatu) Surabaya Angkatan 2014 yang selalu mendukung dan memberi semangat untuk lulus bersama
12. Noviana Ully Marbun selaku teman yang selalu mendukung dan menjadi panutan penulis untuk selesai tepat waktu
13. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun

kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## Daftar Isi

|   |      |
|---|------|
| .....   | i    |
| <b>SKRIPSI</b> .....  | i    |
| .....   | iii  |
| <b>UNDERGRADUATE THESIS</b> .....                                   | iii  |
| .....   | iv   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                                      | v    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                                      | vii  |
| <b>Abstrak</b> .....  | ix   |
| <b>Abstract</b> .....   | xi   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....   | xiii |
| <b>BAB I</b> .....  | 1    |
| <b>PENDAHULUAN</b> .....  | 1    |
| 1.1    Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2    Perumusan Masalah.....                                       | 3    |
| 1.3    Batasan Masalah.....   | 3    |
| 1.4    Tujuan Penelitian.....                                       | 4    |
| 1.5    Manfaat Penelitian.....                                      | 4    |
| <b>BAB II</b> .....   | 5    |
| <b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                       | 5    |
| 2.1    Latar Belakang Motor Diesel .....                            | 5    |
| 2.2    Karakter Motor Diesel.....                                   | 6    |
| 2.3    Biodiesel.....   | 8    |
| 2.4    Proses Produksi Biodiesel Biji Karet .....                   | 9    |
| 2.5    Esterifikasi – Transesterifikasi .....                       | 9    |
| 2.6    Potensi Produksi dan Karakteristik Biodiesel Biji Karet..... | 12   |
| 2.7    Katalis Rhodium (Rh) .....                                   | 13   |
| <b>BAB III</b> .....  | 15   |
| <b>METODE PENELITIAN</b> .....                                      | 15   |
| 3.1    Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir .....                        | 16   |
| <b>BAB IV</b> .....   | 23   |
| <b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....                                 | 23   |
| 4.1    Produksi Biodiesel.....                                      | 23   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.1.1  | Degumming Minyak Biji Karet.....  | 24 |
| 4.1.2  | Esterifikasi.....   | 24 |
| 4.1.3  | Transesterifikasi.....  | 25 |
| 4.1.4  | Proses Pencucian .....  | 25 |
| 4.2    | Properties Biodiesel Minyak Biji Karet.....   | 26 |
| 4.2.1  | Densitas (Berat Jenis) .....  | 27 |
| 4.2.2  | Viskositas .....  | 27 |
| 4.2.3  | <i>Flash Point</i> (Titik Nyala) .....  | 27 |
| 4.2.4  | <i>Pour Point</i> (Titik Tuang).....  | 28 |
| 4.2.5  | Nilai Kalor .....   | 28 |
| 4.3    | Proses Pencampuran Katalis Rhodium Liquid Dalam Biodiesel B20.....  | 28 |
| 4.4    | Analisa Pengaruh Katalis Rhodium Terhadap Biodiesel B20 Dalam Uji Performa dan Proses Pembakaran Motor Diesel .....     | 28 |
| 4.4.1  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1800 Rpm. ....       | 29 |
| 4.4.2  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1900 Rpm. ....       | 30 |
| 4.4.3  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2000 Rpm. .... | 31 |
| 4.4.4  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2100 Rpm. ....       | 32 |
| 4.4.5  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2200 Rpm. .... | 33 |
| 4.4.6  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Pada Setiap Rpm. ....                               | 34 |
| 4.4.7  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Rh Pada Setiap Rpm. ....                            | 35 |
| 4.4.8  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar Bio Solar Pada Setiap Rpm. ....                         | 36 |
| 4.4.9  | Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar HSD Pada Setiap Rpm.....                                | 37 |
| 4.4.10 | Perbandingan Antara Daya Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD .....             | 38 |
| 4.4.11 | Perbandingan Antara Torsi Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD .....            | 39 |
| 4.4.12 | Perbandingan BMEP Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD .....              | 40 |



|        |   |    |
|--------|---|----|
| 4.4.13 | Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1800 ..... | 41 |
| 4.4.14 | Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1900 ..... | 42 |
| 4.4.15 | Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2000 ..... | 43 |
| 4.4.16 | Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2100 ..... | 44 |
| 4.4.17 | Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2200 ..... | 45 |
| 4.5    | Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran ( <i>Maximum Pressure</i> ) .....                                    | 46 |
| 4.5.1  | Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....             | 46 |
| 4.5.2  | Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....             | 47 |
| 4.5.3  | Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....             | 48 |
| 4.5.4  | Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% .....            | 49 |
| 4.6    | Analisa Perbandingan Hasil <i>Ignition Delay</i> .....  | 50 |
| 4.7    | Analisa Perbandingan Hasil <i>Rate Of Heat Release</i> .....  | 51 |
| 4.7.1  | Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....                 | 51 |
| 4.7.2  | Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....                 | 52 |
| 4.7.3  | Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....                 | 53 |
| 4.7.4  | Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% .....                | 54 |
| 4.8    | Analisa Perbandingan Hasil <i>Heat Release</i> .....  | 55 |
| 4.8.1  | Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....                         | 55 |
| 4.8.2  | Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....                         | 56 |
| 4.8.3  | Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....                         | 57 |

|                             |   |    |
|-----------------------------|---|----|
| 4.8.4                       | Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100%    | 58 |
| 4.9                         | Analisa Perbandingan Hasil <i>Knock Detection</i>   | 59 |
| 4.9.1                       | Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25%  | 59 |
| 4.9.2                       | Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50%  | 60 |
| 4.9.3                       | Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75%  | 61 |
| 4.9.4                       | Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% | 62 |
| 4.10                        | Analisa Perbandingan Hasil <i>Peak Knock Detection</i>  | 63 |
| <b>BAB V</b>                |   | 65 |
| <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> |   | 65 |
| 5.1                         | Kesimpulan  | 65 |
| 5.2                         | Saran   | 66 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>       |   | 67 |
|                             |   | 70 |
| <b>LAMPIRAN</b>             |   | 71 |

## Daftar Table

|  |    |
|--|----|
| Table 2. 1 Tabel Properties Biodiesel Biji Karet.....                        | 13 |
| Table 4. 1 Properties Biodiesel Minyak Biji Karet .....                      | 26 |
| Table 4. 2 Properties Biodiesel Minyak Biji Karet Penelitian Sebelumnya..... | 26 |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## Daftar Gambar

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Grafik Pembakaran Pada <i>Diesel Engine</i> .....              | 7  |
| Gambar 2. 2 Reaksi esterifikasi antara methanol dan asam lemak bebas ..... | 10 |
| Gambar 2. 3 Reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alcohol .....     | 11 |
| Gambar 3. 1 Diagram Metodologi Penelitian.....                             | 15 |
| Gambar 3. 2 Rangkaian Eksperimen .....                                     | 19 |
| Gambar 4. 1 Diagram Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Biji Karet.....      | 23 |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## Daftar Grafik

|  |    |
|--|----|
| Grafik 4. 1 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1800 Rpm .....          | 29 |
| Grafik 4. 2 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1900 Rpm .....          | 30 |
| Grafik 4. 3 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2000 Rpm .....          | 31 |
| Grafik 4. 4 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2100 Rpm .....          | 32 |
| Grafik 4. 5 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2200 Rpm.....     | 33 |
| Grafik 4. 6 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Pada Setiap Rpm .....                                  | 34 |
| Grafik 4. 7 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Rh Pada Setiap Rpm.....                                | 35 |
| Grafik 4. 8 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar Biosolar Pada Setiap Rpm.....                              | 36 |
| Grafik 4. 9 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar HSD Pada Setiap Rpm .....                                  | 37 |
| Grafik 4. 10 Perbandingan Antara Daya Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD .....               | 38 |
| Grafik 4. 11 Perbandingan Antara Torsi Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD.....         | 39 |
| Grafik 4. 12 Perbandingan BMEP Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD.....                       | 40 |
| Grafik 4. 13 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1800 ..... | 41 |
| Grafik 4. 14 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1900 ..... | 42 |
| Grafik 4. 15 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2000 ..... | 43 |
| Grafik 4. 16 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2100 ..... | 44 |
| Grafik 4. 17 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2200 ..... | 45 |
| Grafik 4. 18 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 25% .....                    | 46 |
| Grafik 4. 19 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 50% .....                    | 47 |
| Grafik 4. 20 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 75% .....                    | 48 |
| Grafik 4. 21 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 100% .....                   | 49 |
| Grafik 4. 22 Analisa Perbandingan <i>Ignition Delay</i> B20, B20 Rh dan Solar HSD .....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Grafik 4. 23 Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....  | 51 |
| Grafik 4. 24 Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....  | 52 |
| Grafik 4. 25 Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....  | 53 |
| Grafik 4. 26 Analisa Perbandingan <i>Rate Of Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% ..... | 54 |
| Grafik 4. 27 Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....          | 55 |
| Grafik 4. 28 Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....          | 56 |
| Grafik 4. 29 Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....          | 57 |
| Grafik 4. 30 Analisa Perbandingan <i>Heat Release</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% .....         | 58 |
| Grafik 4. 31 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 25% .....       | 59 |
| Grafik 4. 32 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 50% .....       | 60 |
| Grafik 4. 33 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 75% .....       | 61 |
| Grafik 4. 34 Analisa Perbandingan <i>Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; <i>Load</i> 100% .....      | 62 |
| Grafik 4. 35 Analisa Perbandingan <i>Peak Knock Detection</i> B20, B20 Rh dan HSD .....                                 | 63 |



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Belakangan ini kerap sekali terjadi sebuah perbincangan akan terjadinya sebuah krisis energi, terutama energi dalam bidang bahan bakar fosil di Indonesia. Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK Migas) memperkirakan cadangan sumur minyak Indonesia saat ini hanya cukup untuk 11 tahun ke depan. Tanpa cadangan baru, Indonesia pun berpotensi mengalami krisis energi. Untuk itu, selain mengajak investor untuk mencari cadangan migas baru, masyarakat juga diajak untuk berhemat dalam menggunakan Bahan Bakar Minyak (BBM). "Sumur migas yang ada sekarang ini diprediksi memiliki cadangan terutama minyak hanya cukup untuk 11 tahun ke depan," kata Pejabat Humas SKK Migas Dian Sulistiawan di Belitung, seperti dikutip dari Antara pada Kamis (31/8) (*Agustiyanti, 2017*)

Oleh karena itu, jika krisis energy bahan bakar fosil ini tidak mendapatkan solusi dapat mengakibatkan krisis energy dan membuat Indonesia bisa menjadi ketergantungan dalam mengekspor minyak mentah dengan luar negeri. Dalam keadaan yang sedang terjadi seperti ini, diperlukan sebuah penelitian dan terobosan untuk menggunakan energy alternatif seperti bahan bakar terbarukan yang berasal dari biofuel, biomassa dan biogas. Penelitian dan terobosan akan penggunaan bahan bakar terbarukan yang berasal dari biofuel sudah terlaksana diIndonesia, yakni seperti biosolar yang merupakan campuran bahan bakar fosil yaitu solar dengan minyak nabati yang berasal dari minyak sawit atau crude palm oil (CPO). Priyohadi Kuncahyo dkk meneliti bahwa juga saat ini jenis bahan baku biodiesel mencapai lebih dari 50 jenis bahan baku, dan dengan adanya suplemen biodiesel Indonesia akan dapat mengatasi krisis energi sampai pada tahun 2101. Biji karet merupakan salah satu jenis bahan baku yang dapat dijadikan sebuah bahan bakar biodiesel, dimana karet sendiri merupakan salah satu komoditas andalan perkebunan yang memiliki peran penting bagi perekonomian nasional. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) luas areal karet Indonesia merupakan yang terluas di dunia dengan 3,4 juta hektar, diikuti Thailand dan Malaysia. Pada perkebunan karet, diperkirakan mampu menghasilkan 800 – 1200 kg biji/tahun/ha. Berdasarkan estimasi, dari tanaman karet yang telah menghasilkan sebanyak 2.79 juta ha dengan rata – rata biji karet 800 kg/ha/tahun, diperoleh 2,33 juta ton biji/tahun. Potensi sebesar ini belum termanfaatkan secara optimal bahkan menjadi gulma yang mengganggu pertanaman karet. Padahal biji karet dapat digunakan sebagai sumber untuk bahan bakar nabati (BBN). (*Pusat Penelitian dan Perkembangan Perkebunan, 2013*).

Kadar minyak biji karet yang mencapai 50,5% menjadikan biji karet berpotensi sebagai BBN, salah satunya adalah biodiesel (*Ramadhya, 2005*). Kandungan minyak biji atau inti biji karet yaitu sebesar 45–50 %, dengan komposisi 17–22 % asam lemak jenuh yang terdiri atas asam palmitat, stearat, arakhidat, serta asam lemak tidak jenuh sebesar 77–82 % yang terdiri atas asam oleat, linoleat dan linolenat (*Ongge, 2001* diacu oleh *Yusuf, 2010*). Selain itu, biji karet mengandung 27 % protein, 40–45 % lemak, 2,4 % abu dan 3,6 % air (*Yusuf, 2010*).

Sudah banyak sekali peneliti yang melakukan sebuah penelitian tentang pembuatan atau proses produksi biodiesel berbahan baku biji karet, dan sudah ada beberapa juga peneliti yang melakukan test biodiesel terhadap performa, proses pembakaran dan emisi gas buang pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel biji karet. Dari seluruh penelitian yang ada kerap sekali terjadi penurunan performa pada sebuah motor diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel, seperti pada tahun 2010, *Susila* meneliti kinerja mesin diesel menggunakan bahan bakar biodiesel biji karet dengan campuran B5, B10, B15 dan B20. Dimana pada penelitian tersebut B20 memberikan sebuah hasil performa dan efisiensi thermal yang menurun jika dibandingkan dengan B0 (Solar). *Varuvel E.G. dkk, 2008*, menggunakan biodiesel biji karet RSO, RSOME dan solar sebagai pembandingan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase pembakaran RSOME lebih intensif dari pada RSO karena keterlambatan pembakaran lebih rendah, durasi pengapian menurun, dan efisiensi termal lebih tinggi. Dengan menggunakan RSO menghasilkan efisiensi termal 26,53%, dengan RSOME 27,89%, sedangkan dengan solar 29,93% pada beban penuh Tekanan puncak meningkat 2,3 bar untuk RSOME dibandingkan dengan RSO. Dalam kasus RSOME, emisi gas buang seperti CO, HC, dan opasitas menurun jika dibandingkan dengan RSO. *Varuvel E.G, dkk* di tahun yang sama juga melakukan penelitian operasi ganda bahan bakar RSO dan RSOME dengan hidrogen dimasukkan ke dalam intake manifold. RSO, RSOME, dan solar digunakan sebagai bahan bakar utama. Pemakaian hidrogen dengan kuantitas bervariasi terhadap RSO dan RSOME menghasilkan efisiensi termal lebih tinggi dan penurunan emisi secara signifikan. Diperoleh efisiensi termal maksimum 28,12%, 29,26% dan 31,62% dengan RSO, RSOME dan solar pada kuantitas hidrogen 8,39%, 8,73%, dan 10,1 masing-masing. Penurunan opasitas dari 5, menjadi 3,5 BSU dengan RSOME dan untuk RSO dari 6,1 menjadi 3,8 BSU pada efisiensi maksimum. Dari penelitian – penelitian sebelumnya dapat diambil kesimpulan bahwa biodiesel biji karet selalu memiliki nilai thermal yang rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar, tetapi dengan diberikannya sebuah penambahan atau pemakaian hidrogen dapat meningkatkan nilai efisiensi dari motor diesel dengan bahan bakar biodiesel maupun solar. 2010, *Mukhlisin* membuat sebuah penelitian eksperimen tentang penambahan katalis rhodium (rh) pada saat proses pembakaran motor diesel menggunakan bahan bakar solar. Dalam penelitian tersebut hasil dari penambahan katalis rhodium (rh) saat proses pembakaran mengakibatkan peningkatan pada performa motor, efisiensi bahan bakar dan kehematan bahan bakar. Oleh sebab itu, terpikir sebuah pemikiran dan terobosan yang ingin dilakukan oleh penulis dimana ingin melakukan sebuah penelitian tentang penambahan katalis rhodium (rh) dalam bahan bakar biodiesel biji karet B20 dengan cara metode pencampuran homogen. Harapannya dengan dilakukannya hal

tersebut bahan bakar dengan campuran rhodium dapat meningkatkan performa dari motor diesel.

## 1.2 Perumusan Masalah

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar motor diesel pada saat ini sudah banyak digunakan, terutama seperti biosolar yang sudah dipasarkan di masyarakat. Akan tetapi masih banyak sekali biodiesel yang terbuat dari minyak nabati ataupun minyak lemak yang belum di optimalkan sebagai bahan bakar motor diesel. Contohnya adalah seperti biji karet yang dimana memiliki potensi menjadi sebuah biodiesel yang baik, akan tetapi tetap ada suatu masalah yang muncul dimana selalu menurunnya performa motor diesel jika menggunakan bahan bakar biodiesel. Oleh karena itu pada penelitian ini ingin membuat sebuah upaya peningkatan performa pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel dengan cara melakukan penambahan katalis rhodium (rh) pada saat proses pembakaran. Hal tersebut dilakukan karena sudah terbukti meningkatkan performa motor diesel yang menggunakan bahan bakar solar, tetapi belum ada sebuah penelitian yang mencoba melakukan penambahan katalis rhodium (rh) tersebut pada motor diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel.

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada empat, yaitu :

1. Bagaimana *properties* biodiesel dari minyak biji karet?
2. Bagaimana pengaruh penambahan rhodium terhadap performa dan proses pembakaran motor diesel berbahan bakar biodiesel biji karet?
3. Bagaimana perbandingan performa dan proses pembakaran motor diesel berbahan bakar biodiesel biji karet dengan penambahan dan tanpa penambahan rhodium?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Metode pembuatan biodiesel dengan cara proses ESTRANS (Esterifikasi – Transesterifikasi)
2. Variabel bahan bakar yang digunakan terdiri dari Solar HSD, Biosolar Pertamina, B20 Biji Karet dan B20 Rh (Rhodium)
3. Variabel putaran pada mesin menggunakan RPM sebesar 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM dan 2200 RPM
4. Dengan menggunakan 5 variasi pembebanan 0W, 1000W, 2000W, 3000W dan 4000W
5. Pengujian performa dan proses pembakaran dilakukan pada motor diesel Yanmar TF 85 MH-di dengan Alternator yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK – ITS

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adanya beberapa tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui *properties* biodiesel dari minyak biji karet.
2. Untuk mengetahui bagaimana perbandingan performa antara bahan bakar B20 Rh, B20, Biosolar Pertamina dan HSD.
3. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dengan dilakukannya sebuah penelitian tentang penambahan rhodium dalam bahan bakar biodiesel biji karet pada performa dan proses pembakaran motor diesel, diharapkan memiliki manfaat dimana dapat menjadi rekomendasi ataupun saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Latar Belakang Motor Diesel

Motor diesel adalah motor bakar dalam yang menggunakan panas dari kompresi untuk memulai pengapian dan untuk membakar bahan bakar yang disuntikkan ke dalam ruang pembakaran pada tahap akhir kompresi. Hal ini berbeda dengan motor bensin yang menggunakan siklus Otto, dimana campuran udara dan bahan bakar dinyalakan oleh busi (*Mukhlisin, 2010*).

Motor diesel adalah jenis motor pembakaran dalam (internal combustion engine), dimana sistem penyalaan bahan bakar dengan cara menyemprotkan bahan bakar dengan pompa bertekanan kedalam silinder yang berisi udara terkompresi. Dengan tekanan dan temperatur udara didalam silinder yang tinggi dimana melebihi temperatur nyala bahan bakar maka bahan bakar akan terbakar bersamaan dengan udara bertekanan kemudian akan menghasilkan suatu kerja. Biodiesel sebagai bahan bakar yang akan digunakan dalam motor diesel harus memiliki properties dan karakteristik yang sesuai standard, seperti viskositas. Pada motor diesel viskosita berpengaruh pada kemudahan bahan bakar untuk mengalir di dalam saluran bahan bakar, pompa, dan injektor. Semakin rendah viskositanya, maka semakin mudah bahan bakar tersebut mengalir (*Noah, 2011*).

Semua mesin diesel harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum ditunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi dan kebutuhan bahan bakar spesifik. Karakteristik bahan bakar juga mirip dengan solar konvensional dengan kadar sulfur yang rendah. Biodiesel memiliki kelebihan dibandingkan dengan solar dimana daya lubrikasinya sangat signifikan sehingga dapat memperbaiki karakteristik minyak solar (*Zuhdy, 2003*).

Performa yang dihasilkan oleh mesin diesel pasti berbeda, tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan proses pembakarannya. Karakteristik geometris diantaranya terdiri dari rasio kompresi, rasio bore stroke, rasio panjang connecting rod terhadap radius crank, brake torque dan power, mean effective pressure, specific fuel consumption (*Heywood, 1988*).

Berikut adalah beberapa karakteristik tersebut:

- a) Karakteristik Geometrik Rasio kompresi adalah perbandingan antara volume silinder ditambah dengan volume ruang bakar pada saat piston di TMB dengan volume ruang bakar pada saat TMA (*Heywood, 1988*).

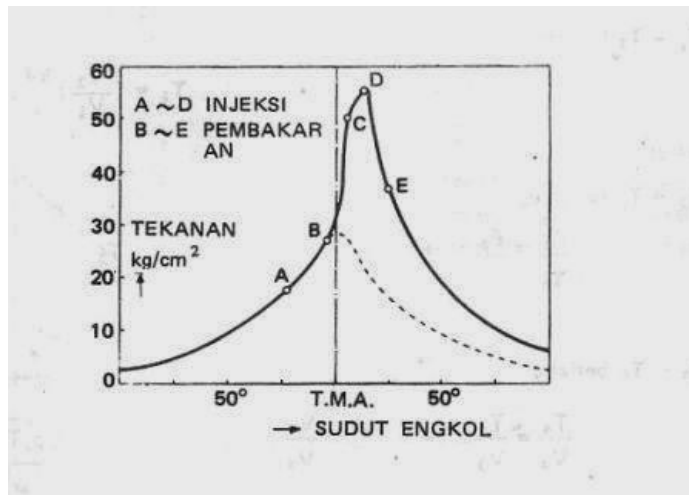
- b) Brake torque merupakan torsi yang diperoleh dari perkalian gaya dengan panjang lengan gaya dynamometer. Mesin menghasilkan torsi dan digunakan untuk menggerakkan crankshaft. Pada saat pembakaran di silinder mesin, udara menimbulkan tekanan pada piston. Kemudian tenaga itu ditransmisikan dari piston melalui connecting rod menuju crankshaft. Torsi mesin biasanya diukur dengan dynamometer. Torsi bisa dihitung dengan dynamometer (*Heywood, 1988*).
- c) Brake Power Brake power adalah besarnya daya yang dihasilkan langsung dari putaran poros engkol yang dikeluarkan oleh mesin terhadap beban. Nilai brake power didapatkan dari hasil perkalian antara torsi dengan kecepatan mesin (RPM). Sehingga besarnya power yang dihasilkan mesin berbanding lurus dengan torsi dan kecepatan dari mesin tersebut (*Heywood, 1988*).
- d) Mean effective pressure Mean effective pressure (MEP) adalah salah satu karakter performa dari motor yang diperoleh dari beberapa parameter, diantaranya kerja tiap siklus dan volume displacement silinder tiap siklusnya (*Heywood, 1988*).
- e) Spesific fuel consumption dan efisiensi Spesific fuel consumption (SFC) atau konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan laju aliran masa fuel disetiap satuan waktu, atau biasa dilambangkan dengan  $m_f$  dibagi dengan daya output dari motor (*Heywood, 1988*).

Combustion analysis process merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik proses pembakaran meliputi maximum pressure, heat release, knocking dan ignition delay.

Dalam pengoperasian bahan bakar biodiesel ke motor diesel ada hal yang harus diperhatikan, yaitu munculnya knocking. Knocking yaitu hal yang disebabkan karena terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan pada tahapan pembakaran tertunda. Sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara yang keras. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian analisa combustion process motor diesel yang menggunakan biodiesel kemiri sunan sebagai bahan bakarnya untuk mengetahui bagaimana kondisi pembakaran (combustion process) (*Prabowo, 2014*).

## 2.2 Karakter Motor Diesel

Motor diesel dikategorikan dalam motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) (biasanya disebut “motor bakar”). Prinsip kerja motor diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia didapatkan melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksigen (udara) di dalam silinder (ruang bakar). Proses pembakaran motor diesel dimulai dari bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar berbentuk butir-butir cairan yang halus. Karena udara pada ruang bakar bertemperatur tinggi, maka butir-butir bahan bakar tersebut akan menguap. Penguapan butiran bahan bakar tersebut dimulai pada bagian permukaan terluarnya, karena bagian ini merupakan bagian terpanas. Uap tersebut bercampur dengan udara sekitarnya. Begitu seterusnya selama motor diesel digunakan (*Mukhlisin, 2010*).



Gambar 2. 1 Grafik Pembakaran Pada *Diesel Engine*

(Sumber : Google/proses-pembakaran-mesin-diesel)

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 diatas, adalah gambar dari grafik proses pembakaran pada motor diesel yang dibagi menjadi empat tahap. Tahap – tahap tersebut adalah :

a.) Tahap pembakaran tertunda (*Ignition Delay*) (A-B)

Tahap ini merupakan persiapan sebelum terjadi pembakaran. Bahan bakar disemprotkan (mulai dari titik A) oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar dan bercampur sehingga menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran akan mulai pada titik B. Peningkatan tekanan terjadi secara konstan karena piston terus bergerak ke TMA.

b.) Tahap rambatan Api (*Rapid Combustion*) (B - C)

Campuran udara dan bahan bakar yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata di seluruh bagian dalam silinder. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (explosive). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula. Akhir tahap ini disebut tahap pembakaran letupan.

c.) Tahap pembakaran langsung (*Steady Combustion*) (C-D)

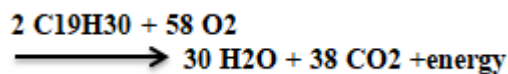
Nozzle Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung maka tekanan beserta suhu tinggi akan terus berlanjut di dalam silinder. Akibatnya, bahan bakar yang di semprotkan akan langsung terbakar oleh panas. (Titik D adalah tekanan maksimum yang dicapai dalam proses pembakaran tersebut). Pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar

yang disemprotkan, sehingga tahap ini dapat disebut juga tahap pengontrolan pembakaran.

d.) Tahap pembakaran lanjutan (*After Burning*) (D-E).

Pada titik D, injeksi bahan bakar sudah berhenti, namun bahan bakar belum terbakar seluruhnya. Pada periode (dari titik D-E) ini sisa bahan bakar dan udara yang belum terbakar diharapkan akan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran menjadi berkurang berkurang.

Secara sistematis, proses pembakaran dalam motor diesel adalah sebagai berikut :



Sehingga proses pembakaran akan menghasilkan uap air (H<sub>2</sub>O) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Konsep diatas terjadi saat terjadi pembakaran sempurna. Padahal tidak semuanya pembakaran bisa terjadi secara sempurna, sehingga hasil dari pembakaran juga akan berpengaruh. Salah satunya adalah gas NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub>. Gas inilah yang berbahaya yang biasa dinamakan emisi (Mukhlisin, 2010).

### 2.3 Biodiesel

Biodiesel merupakan senyawa alkil ester yang dapat digunakan pada mesin diesel yang berasal dari turunan minyak/lemak nabati dan hewani. Salah satu jenis minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan biodiesel adalah minyak biji karet. Namun, mengingat kandungan asam lemak bebas di dalam minyak biji karet yang tinggi, maka proses pembuatan biodiesel dari minyak biji karet lebih efektif dan efisien dilakukan dengan proses estrans, yaitu proses dua tahap reaksi Esterifikasi-Transesterifikasi dengan penggunaan katalis yang sesuai (Yusuf, 2010)

Bahan bakar biodiesel adalah metil atau etil ester yang diperoleh dari bermacam macam sumber energi yang dapat diperbaharui, seperti minyak tumbuhan atau lemak hewan. Ester adalah senyawa organik yang dapat digunakan dalam proses pembakaran pada mesin-mesin karena beberapa sifat dari ester sama seperti yang digunakan untuk bahan bakar diesel. Bahan bakar ini disebut biodiesel karena berasal dari material yang dapat diuraikan secara biologis dan dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin diesel (Anita, 2010).

Bahan bakar biodiesel dibuat dengan proses yang disebut transesterifikasi. Yang dimaksudkan dengan transesterifikasi adalah minyak-minyak (trigliserida) yang akan diubah menjadi metil ester dan gliserol melalui reaksi kimia dengan alcohol (biasanya methanol ataupun etanol) dan penambahan katalis seperti natrium atau kalium hidroksida. Biodiesel secara alami mudah teroksidasi, sehingga di dalam penyimpanan



sebaiknya digunakan tangki penyimpanan yang terbuat dari aluminium atau baja (Dewi, 2004).

Keuntungan penggunaan biodiesel diantaranya adalah bahan bakunya dapat diperbaharui (renewable), penggunaan energi lebih efisien, dapat menggantikan bahan bakar diesel dan turunannya dari petroleum, dapat digunakan pada peralatan diesel tanpa perlu modifikasi atau hanya modifikasi kecil, dapat mengurangi emisi/pancaran gas yang menyebabkan pemanasan global, dapat mengurangi emisi udara beracun karena kandungan sulfurnya kecil atau bahkan tidak ada, memiliki titik nyala yang cukup tinggi sehingga aman dalam penyimpanannya, bersifat biodegradable, cocok untuk lingkungan sensitif, dan mudah digunakan (Knothe, 2006).

## **2.4 Proses Produksi Biodiesel Biji Karet**

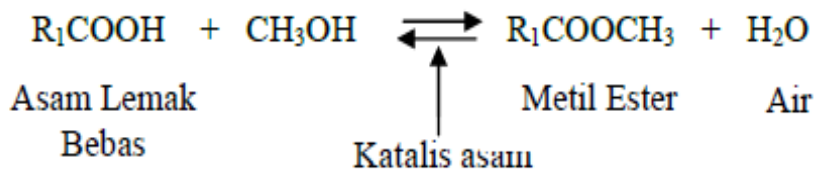
Proses pembuatan biodiesel dari bahan nabati pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua cara yaitu: pertama metode katalis, menggunakan katalis (asam maupun basa) serta proses pencuciannya menggunakan air (wet wash system) atau absorban (dry wash system) berlangsung pada temperatur dan tekanan rendah; kedua, metode non-katalis dimana transesterifikasi berlangsung pada reaktor temperature tinggi tekanan rendah atau tinggi. Tahapan proses yang dilalui pada metode katalis yaitu pengepresan atau ekstrak biji nabati sehingga diperoleh minyak biji karet atau disebut juga rubber seed oil (RSO), degumming (untuk mengikat lendir atau getah atau kotoran minyak mentah), esterifikasi (untuk menurunkan kadar asam lemak bebas atau FFA sampai di bawah 2,5%), transesterifikasi (untuk memperoleh metil ester), pemisahan fatty acid methyl ester (FAME) dan gliserol, pencucian (basah atau kering), pemisahan lagi sehingga menghasilkan biodiesel siap dipasarkan. Masalah utama yang dihadapi akibat pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar pada mesin diesel adalah rendahnya efisiensi termal dan tingginya opasitas gas buang jika dibandingkan dengan solar. “Road map” penelitian tentang kinerja mesin diesel dan analisis emisi gas buang mesin diesel yang menggunakan biodiesel dari berbagai bahan nabati seperti kelapa sawit, biji jarak, biji karet, bunga matahari, dll telah dilakukan oleh berbagai peneliti (Susila, 2010).

## **2.5 Esterifikasi – Transesterifikasi**

Istilah esterifikasi mengacu pada reaksi asam karboksilat, dalam hal ini asam lemak dengan alkohol untuk menghasilkan ester. Transesterifikasi adalah reaksi ester baru yang mengalami penukaran posisi asam lemak (Swern, 1982). Proses transesterifikasi lebih disukai untuk memproduksi biodiesel karena lebih efisien (Freedman dkk, 1984).

Alkoholisis lemak yang menggunakan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol dapat dikatalis oleh asam maupun katalis basa. Namun, katalis basa banyak digunakan karena reaksinya sangat cepat, sempurna, dan 10 dapat dilakukan pada suhu

rendah (Swern, 1982). Reaksi esterifikasi antara asam lemak bebas dan metanol dapat dilihat pada Gambar 2. 2



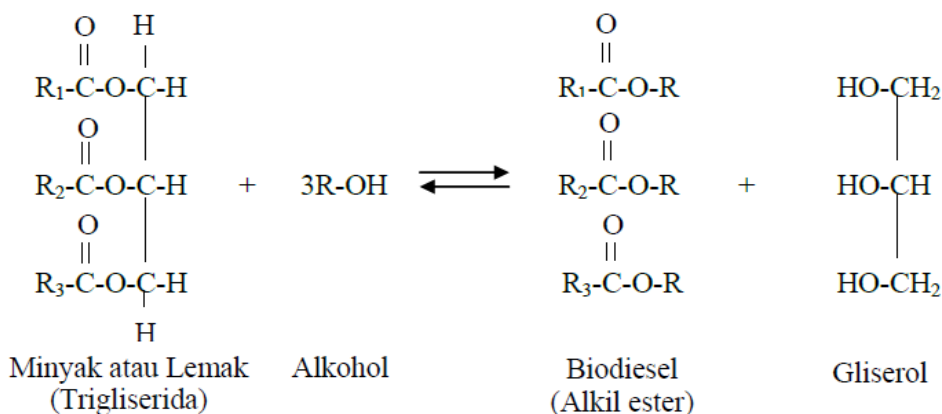
Gambar 2. 2 Reaksi esterifikasi antara methanol dan asam lemak bebas

(Sumber : Yusuf, 2010)

Transmetilasi berkatalis basa berlangsung antara metanol dan trigliserida melalui pembentukan berturut-turut digliserida dan monogliserida yang menghasilkan metil ester pada tiap tahapannya (Mao dkk, 2004). Laju konversi monogliserida menjadi metil ester lebih cepat dari pada digliserida dan trigliserida (Darmoko dan Cheryan, 2000). Menurut Mao dkk, (2004), hal ini terjadi karena monogliserida lebih mudah larut dalam fase polar (gliserol) dimana katalis berada. Metanolisis berkatalis basa memerlukan minyak dengan syarat tertentu. Sifat dasar minyak yang harus dipenuhi adalah bersih, tanpa air, dan netral secara substansial (Swern, 1982). Kegagalan reaksi ini menghasilkan sabun yang dapat mengurangi kebasaan katalis dan membentuk lapisan gel yang dapat mempersulit pemisahan dan pengendapan gliserol (Canakci dan Gerpen, 2001).

Kandungan asam lemak bebas dan air yang lebih dari 0,5 % dan 0,3 % dapat menurunkan rendemen transesterifikasi minyak (Freedman dkk, 1984). Di samping itu, Lee dkk, (2002) juga melaporkan bahwa rendemen transesterifikasi dapat ditingkatkan dari 25 % menjadi 96 % dengan memurnikan minyak jelantah (dari 10 % asam lemak bebas dan 0.2 % air menjadi 0,23 % asam lemak bebas dan 0,02 % air).

Transesterifikasi minyak menjadi metil ester dilakukan baik dengan satu atau dua tahap proses, bergantung pada mutu awal minyak. Minyak yang mengandung asam lemak bebas yang tinggi, dapat dengan efisien dikonversi menjadi esternya melalui beberapa tahap reaksi yang melibatkan katalis asam, untuk mengesterifikasi asam lemak bebas yang dilanjutkan dengan transesterifikasi asam lemak bebas berkatalis basa yang mengkonversi sisa trigliserida (Canakci dan Gerpen, 2001). Jika minyak mempunyai kandungan asam lemak bebas yang rendah, transesterifikasi dapat dilakukan dengan satu tahap (Ambarita, 2002). Gambar 2. 3 memperlihatkan reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol.



Gambar 2. 3 Reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alcohol

(Sumber : Yusuf, 2010)

Katalis asam selain mengesterifikasi asam lemak bebas, juga mengkonversi trigliserida menjadi metil esternya. Meskipun demikian, kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan transesterifikasi yang menggunakan katalis basa (Haas dkk, 2003).

Reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah jumlah pereaksi, metanol dan asam lemak bebas, waktu reaksi, suhu, konversi katalis, dan kandungan air pada minyak (Ozgul dan Turkay, 2002). Semakin tinggi jumlah metanol yang digunakan dan kandungan asam lemak bebas pada minyak, maka semakin tinggi rendemen metil ester serta semakin kecil kandungan asam lemak bebas di akhir reaksi. Goff dkk, (2004), menyatakan bahwa minyak dengan kadar air kurang dari 0.1 % dapat menghasilkan metil ester lebih dari 90%.

Ozgul dan Turkay (2002), juga menyatakan bahwa semakin lama waktu reaksi esterifikasi maka semakin besar rendemen metil ester yang didapat. Suhu 65 °C sudah memberikan rendemen metil ester yang memadai. Akan tetapi, jumlah katalis yang berlebihan tidak akan meningkatkan dengan nyata rendemen metil ester. Haas dkk, (2003) menambahkan bahwa air yang dihasilkan selama proses esterifikasi berkurang seiring berjalannya waktu.

Reaksi transesterifikasi dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal adalah kondisi minyak itu sendiri misalnya kandungan air, kandungan asam lemak bebas, dan kandungan zat terlarut maupun tak terlarut yang dapat mempengaruhi reaksi. Faktor eksternal adalah kondisi yang bukan berasal dari minyak dan dapat mempengaruhi reaksi. Faktor eksternal diantaranya adalah suhu, waktu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis, serta jumlah rasio molar metanol terhadap minyak.

Jumlah alkohol yang dianjurkan sekitar 1.6 kali jumlah yang dibutuhkan secara teoritis. Bahkan bisa dikurangi sampai 1.2 kali jika direaksikan dalam tiga tahap. Jumlah alkohol yang lebih dari 1.75 kali jumlah teoritis tidak akan mempercepat reaksi bahkan mempersulit pemisahan gliserol selanjutnya (Swern, 1982). Proses transesterifikasi dapat dilakukan secara curah (batch) atau sinambung (continuous) (Darnoko dkk, 2001).

Menurut Mao dkk, (2004), transesterifikasi pada minyak kedelai dengan jumlah metanol 6:1 (20 % v/v) dan 21 % bobot NaOH terhadap minyak, dalam waktu 3 menit menghasilkan metil ester yang memenuhi standard biodiesel. Akan tetapi, menurut Freedman dkk, (1984), katalis yang dapat dipakai adalah 1,0 % bobot minyak atau kurang dan rasio molar methanol terhadap minyak adalah 6:1. Tidak ada peningkatan rendemen yang signifikan jika kedua variabel tersebut ditingkatkan. Reaksi ini menghasilkan 95 % metil ester dalam waktu 1 jam pada suhu 65 °C.

## **2.6 Potensi Produksi dan Karakteristik Biodiesel Biji Karet**

Rendemen RSO (Rubber Seed Oil) dari hasil pengepresan biji karet berkisar 22,28 – 30,00%. Jika lendir, getah, dan kotoran pada RSO dimurnikan dengan proses degumming, akan dihasilkan RSO murni dengan rendemen 83,44%. Untuk menghasilkan biodiesel kemudian RSO murni diproses dengan metode esterifikasi dan transesterifikasi dengan rendemen 74,5 – 74,6%. Secara nasional jumlah RSO yang dihasilkan dari 2,74 juta ton biji karet mencapai 685 ribu ton (dengan asumsi rendemen RSO 25%), setelah dimurnikan dengan proses degumming akan dihasilkan minyak murni 571,66 ribu ton dan setelah melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi, dihasilkan biodiesel sebanyak 424,46 ribu ton/tahun (Puslitbangbun, 2012).

Setelah diperoleh kondisi (perlakuan) terpilih dari proses estrans dalam penelitian ini, maka selanjutnya dilakukan analisis terhadap beberapa parameter biodiesel (metil ester) yang diperoleh. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi densitas pada suhu 15 °C, bilangan penyabunan untuk selanjutnya digunakan dalam pengukuran bilangan ester teoritis, serta dilakukan pengukuran titik nyala. Sedangkan nilai viskositas kinematik dan bilangan asam metil ester, sebelumnya sudah dilakukan pengukuran pada tahapan reaksi transesterifikasi dan digunakan kembali untuk dibandingkan dengan standar biodiesel. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa densitas dan titik nyala metil ester dari perlakuan estrans terpilih, yakni berturut-turut sebesar 0,887 g/ml dan 103 °C. Bilangan penyabunan metil ester yang terukur, yakni sebesar 225,90 mg KOH/g sampel, sehingga dapat diketahui bilangan ester teoritis metil ester yang terukur adalah 224,68 mg KOH/g sampel. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa dalam penelitian ini pengukuran bilangan ester hanya dilakukan secara teoritis, yakni dengan konversi pengurangan bilangan penyabunan dengan bilangan asam yang telah diukur. Pengukuran yang lebih tepat dapat dilakukan dengan mengukur kandungan gliserol bebas sehingga akan diperoleh jumlah kandungan ester biodiesel, atau menggunakan alat GC untuk mendapatkan kadar ester (% b/b). Namun, pengukuran bilangan ester

dalam penelitian ini meskipun tidak menunjukkan kuantitas senyawa ester yang sebenarnya, tetapi secara teoritis, bilangan ini dapat memperkirakan jumlah asam organik yang bersenyawa sebagai ester. Oleh karena itu, disarankan dalam penelitian sejenis ke depannya agar dilakukan pengukuran yang lebih lengkap lagi, yakni pengkurunan kadar gliserol bebas dan total, serta kadar ester dengan menggunakan GC sehingga diperoleh hasil yang lebih optimal untuk mengetahui kualitas biodiesel yang dihasilkan. Penelitian ini mencoba memberikan informasi awalan mengenai beberapa parameter hasil penelitian yang telah dilakukan, sehingga diharapkan dapat berguna untuk informasi acuan dalam penelitian sejenis ke depannya. Tabel 2. 1 memperlihatkan hasil analisis metil ester (biodiesel) perlakuan estrans terpilih.

Table 2. 1 Tabel Properties Biodiesel Biji Karet

| Parameter                  | Satuan          | Metil Ester Biji Karet | Standar     | Metode Pengukuran |
|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------|-------------------|
| Bilangan Asam              | mg KOH/g sampel | 0,22                   | Maks 0,8    | ASTM D-664        |
| Viskositas kinematik 40 °C | cSt             | 4,77                   | 1,9 – 6     | ASTM D-445        |
| Densitas 15 °C             | g/ml            | 0,887                  | 0,85 – 0,89 | ASTM D-1298       |
| Titik nyala                | °C              | 103                    | Min 100     | ASTM D-92         |
| Bilangan Penyabunan        | mg KOH/g sampel | 225,90                 |             |                   |
| Bilangan Ester Teoritis    | mg KOH/g sampel | 225,68                 |             |                   |

(Sumber : Yusuf, 2010)

Berdasarkan Table 2. 1 di atas, maka dapat diketahui bahwa biodisel (metil ester) minyak biji karet dalam penelitian ini sudah memenuhi standar biodiesel untuk parameter bilangan asam, viskositas kinematik, densitas, dan titik nyala (Yusuf, 2010)

## 2.7 Katalis Rhodium (Rh)

Salah satu cara lain untuk mempercepat laju reaksi adalah dengan jalan menurunkan energy pengaktifan suatu reaksi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan katalis. Katalis adalah zat yang dapat meningkatkan laju reaksi tanpa dirinya mengalami perubahan kimia secara permanen. Katalis dapat bekerja dengan membentuk senyawa antara zat yang direaksikan. Katalis terdiri dari beberapa jenis, salah satunya yaitu logam mulia seperti platinum, palladium, ruthenium, rhodium, Au, Ag, baik tunggal atau kombinasi. Keuntungan penggunaan katalis logam mulia karena memiliki tingkat aktivitas yang tinggi, selektifitas yang baik, dan daya tahan yang baik sehingga jangka waktu penggantianannya lama. Untuk analisa kali ini digunakan katalis aerosol dengan bahan Rhodium(Rh) yang di campur dengan alkohol (Mukhlisin, 2010).

Rodium merupakan logam mulia yang memiliki nomor atom 45 dan merupakan katalis yang memiliki aktivitas tinggi dalam hidrogenasi senyawa aromatik. Rodium berwarna putih keperakan dan bila diletakkan di udara perlahan-lahan akan berubah menjadi resquiksidasi. Katalis ini juga memiliki aktivitas lebih tinggi dibanding katalis logam palladium yang biasa dipergunakan dalam hidrogenasi olefin. Efek dari Rhodium

(Rh) adalah dapat mencegah terjadinya pencampuran antara molekul Nitrogen dan Oksigen ( NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>). Logam ini memiliki titik cair yang tinggi dan bobot jenis yang lebih rendah dari platina. Sifat lainnya adalah reflektif, keras dan tahan lama. Kegunaan utama rodium adalah bagian dari alloy untuk mengeraskan platina dan paladium. Alloy semacam ini digunakan untuk rakitan gulungan kawat koil dalam tungku pemanas, pembuatan termokopel, bushing (proses pembentukan garis silindris untuk menahan gerakan mekanis) pada produksi serat kaca dan elektroda pada kabel kontak pemercik api pada pesawat terbang. Rhodium sangat berguna sebagai bahan kontak listrik karena rhodium memiliki hambatan listrik yang rendah, hambatan kontak yang rendah dan stabil, dan sangat tahan terhadap korosi. Lapisan rhodium, dihasilkan dengan metode electroplating atau dengan evaporasi (penguapan), bersifat keras dan digunakan untuk instrument optis. Rhodium juga digunakan untuk perhiasan wanita, dekorasi, dan bisa juga digunakan sebagai katalis (Mukhlisin, 2010).

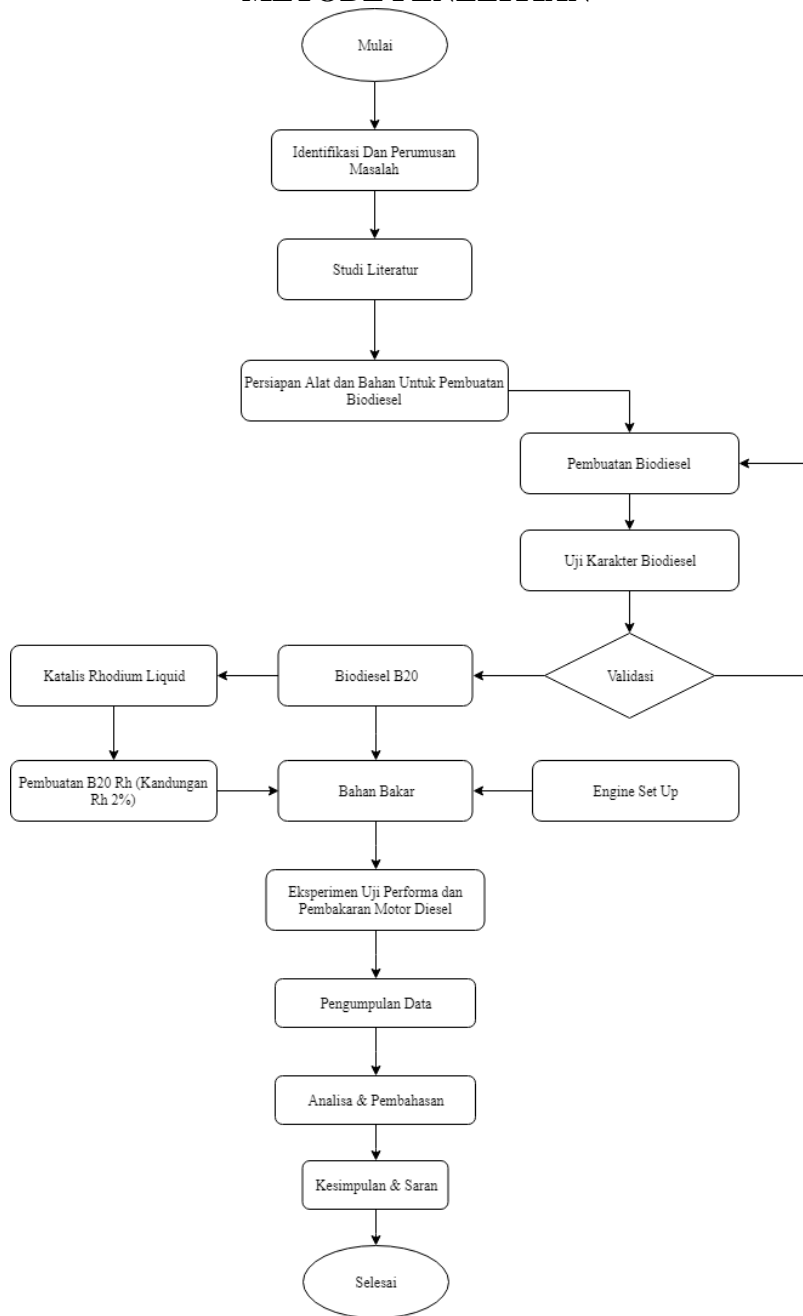
Cara kerja katalis rhodium (rh) dimana teknologi ini adalah dengan memasukkan katalis kedalam aliran udara yang bercampur dengan bahan bakar dan hal ini menggunakan produksi sejenis aerosol yang berisikan bahan campuran kimia yang tepat. Katalis aerosol menggunakan rhodium (Rh) dalam pencampuran dengan bahan bakar. Katalis mengambil oxygen dari NO, reaksi kimia dari penambahan katalis pada bahan bakar adalah :  $2\text{NO} + 2\text{CO} + \text{p-r catalyst} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{CO}_2$  Dengan suatu alat, katalis disemprotkan kedalam ruang pembakaran dalam bentuk spray. Agar katalis dapat dicampurkan dengan udara bahan bakar, maka ditambahkan dengan likuit yaitu alcohol/ ethanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). Katalis dikonversi ke aerosol dan diteruskan ke ruang pembakaran. Udara dan katalisator masuk bersama-sama ke dalam ruang pembakaran (Mukhlisin, 2010)

Pengaruh terhadap pencampuran katalis rhodium (rh) pada bahan bakar dimana berdasarkan dari sebuah penelitian (Deni Rahmadi dkk) yang telah terjadi bahwa pada tahap itu dilakukan sebuah pengujian penambahan katalis rhodium (rh) terhadap unjuk kerja motor diesel yang dimana diambil sebuah data menggunakan persentase jumlah katalis sebesar 5%, 7% dan 10%. Dengan menggunakan nilai rpm yang sama, eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui persentase jumlah rhodium yang baik untuk meningkatkan unjuk kerja motor diesel. Dari serangkaian pengujian dan perhitungan tersebut akhirnya bisa diketahui daya maksimum yang dihasilkan oleh motor diesel tersebut. Dalam pengujian ini motor diesel dirunning pada kondisi normal (tanpa penambahan katalis)

- Pada pengujian motor diesel dengan penambahan katalis rhodium (rh) dapat menghasilkan daya yang lebih besar dari pada daya yang dihasilkan motor diesel dalam keadaan normal (tanpa penambahan katalis), dengan putaran 5000 rpm dan daya rata – ratanya non campuran katalis 12,798 (Hp), 5% katalis 20,2432 (Hp), 7% katalis 28,4272 (Hp), 10% katalis 36,515 (Hp)
- Efisiensi bahan bakar motor diesel dengan penambahan katalis sangat besar pengaruhnya dengan menggunakan non katalis misalnya dalam pengujian statistik non campuran katalis 0,0604 (Kg/Hp.Jam), 5% katalis 0,0314 (Kg/Hp.Jam), 7% katalis 0,0198 (Kg/Hp.Jam), 10% katalis 0,014 (Kg/Hp.Jam) (Deni, R., Margianto., Artono, R. 2014).

## BAB III

### METODE PENELITIAN



Gambar 3. 1 Diagram Metodologi Penelitian

Gambar 3.1 diatas adalah diagram metodologi penelitian yang dimana membuat sebuah proses pengerjaan skripsi yang terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah.

### **3.1 Tahapan Pelaksanaan Tugas Akhir**

Dalam karya ilmiah yang baik perlu memiliki metodologi yang terperinci dengan sumber informasi yang sebanyak-banyaknya. Untuk mencapai hasil yang diinginkan, maka dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diperlukan kerangka pengerjaan yang terstruktur. Metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah diatas digunakan metode eksperimen dan analisa. Dimana dalam eksperimen ini melakukan uji performa dan proses pembakaran pada motor diesel dengan menggunakan variable bahan bakar B20 Biji Karet, B20 Rh (2%) dan Solar HSD Biosolar Pertamina sebagai pembanding.

Dalam perencanaan eksperimen ini menggunakan tahapan – tahapan pengerjaan sebagai berikut :

#### **1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai Pengaruh Penambahan Katalis Rhodium (Rh) Dalam Bahan Bakar Biodiesel Dari Biji Karet Pada Performa dan Pembakaran Motor Diesel.

#### **2. Studi Literatur**

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Dimana yang harus dilakukan pada tahap ini, adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara memahami isi paper atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

#### **3. Persiapan Alat dan Bahan**

Pada tahap ini dilakukan proses persiapan alat dan bahan untuk menunjang eksperimen ini. Sebelum dilaksanakannya eksperimen pengaruh penambahan katalis rhodium dalam bahan bakar biodiesel biji karet terhadap performa dan



proses pembakaran ini, berikut adalah hal – hal yang harus dipersiapkan terlebih dahulu :

- Bahan bakar solar HSD
- Bahan bakar biosolar Pertamina
- Bahan bakar biodiesel biji karet (B20)
- Rhodium liquid
- *Diesel Engine* Yanmar TF 85 MH-di
- Stopwatch
- Tachometer
- Amperemeter
- Control panel
- Multimeter
- Load (lamp)
- Alternator
- Hardware Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU dengan Entry Level Cards
- Software SYSMONSSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis
- Komputer sebagai pengolah data

Penentuan variabel yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

- RPM : 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200
- Fuel : Biodiesel B20, Biodiesel B20 Rh (2%), Biosolar Pertamina dan Solar HSD
- Load (W) : 0, 1000, 2000, 3000 dan 4000

#### 4. Pembuatan Biodiesel

Pembuatan biodiesel biji karet ini dilakukan dengan metode proses ESTRANS (Esterifikasi – Transesterifikasi).

#### 5. Uji Karakter Biodiesel

Tahap ini merupakan pengujian karakteristik biodiesel, pengujian akan dilakukan dengan standar laboratorium untuk mendapatkan properties dari biodiesel biji karet tersebut.

#### 6. Validasi

Setelah pembuatan biodiesel biji karet selesai, akan dilakukan uji coba lab, jika memenuhi standar biodiesel SNI akan dilanjutkan ketahap berikutnya adalah melakukan eksperimen uji kinerja.

#### 7. Biodiesel B20

Setelah selesai uji karakter biodiesel dan memenuhi standar SNI, didapatkan *sample* biodiesel B20 yang dimana campuran dari 20% biodiesel dan 80% solar.

#### 8. Katalis Rhodium Liquid

Katalis Rhodium Liquid ini adalah bahan utama setelah dari biodiesel B20, yang dimana akan menjadi sebuah katalis yang dicampurkan terhadap bahan bakar biodiesel B20 tersebut.

#### 9. Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel B20 Rh (2%)

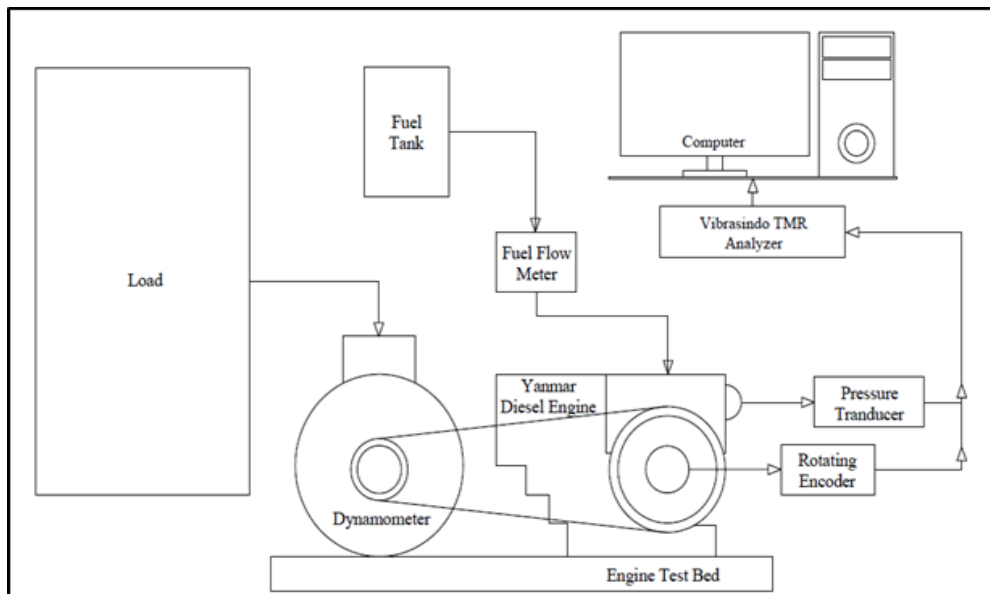
Pada tahap ini dilakukan pembuatan *sample* bahan bakar biodiesel yang sudah dicampurkan katalis rhodium liquid dengan komposisi 2% (v/v).

#### 10. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan dalam eksperimen ini terdiri dari 4 bahan bakar yakni Biodiesel B20, Biodiesel B20 Rh (2%), Biosolar dan Solar HSD. Bahan bakar Biosolar berasal dari SPBU milik PT. Pertamina dan untuk bahan bakar Biodieselnnya sendiri didapatkan dari hasil proses pembuatan biodiesel dari minyak biji karet (*havea brasiliensis*). Kegunaan dari Solar HSD dan Biosolar sendiri sebagai bahan bakar pembanding saat dilakukan eksperimen, dan untuk Solar HSD sendiri digunakan sebagai bahan utama campuran terhadap Biodiesel minyak biji karet dengan membuat *sample* B20 (20% Biodiesel dan 80% Solar HSD). Setelah didapatkan B20 dilanjutkan dengan membuat *sample* campuran antara biodiesel B20 dengan katalis rhodium liquid seperti pada proses nomor 9 diatas, yang dimana dicampur dengan persentasi 2% Rh. Sehingga dengan semua bahan bakar tersebut total bahan bakar yang akan digunakan dalam proses eksperimen uji performa dan pembakaran motor diesel adalah, sebagai berikut :

1. Biodiesel B20
2. Biodiesel B20 Rh (2%)
3. Biosolar Pertamina
4. HSD

## 11.Engine Set Up



Gambar 3. 2 Rangkaian Eksperimen

Gambar 3. 2 diatas sebuah gambar ilustrasi dari Engine Set up, dimana pada gambar diatas menggunakan Yanmar TF 85 MH-di sebagai Engine test eksperimen ini. Mesin (motor diesel) tersebut disambungkan dengan alternator, amperemeter, voltmeter, control panel (beban) dan hardware vibrasindo TMR analyzer. Tanchometer diatas digunakan sebagai alat yang berfungsi untuk mengetahui putaran mesin (RPM) dan stopwatch diatas digunakan sebagai alat penghitung waktu konsumsi bahan bakar dan hardware vibrasindo TMR analyzer digunakan sebagai aplikasi yang menentukan nilai – nilai proses pembakaran. Sehingga dalam eksperimen ini alat – alat yang dibutuhkan saat melakukan eksperimen adalah sebagai berikut :

A. *Diesel Engine* Yanmar TF 85 MH-di

B. *Alternator*

C. *Control Panel*

D. *Fuel*

- Biodiesel B20
- Biodiesel B20 Rh (2%)
- Biosolar Pertamina
- Solar HSD

E. *Amperemeter*

F. *Voltmeter*

G. *Tachometer*

H. *Stopwatch*

I. Hardware Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU dengan Entry Level Cards

J. Software SYSMONSSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis

K. Komputer sebagai pengolah data

## 12. Eksperimen Uji Performa dan Proses Pembakaran Motor Diesel

Setelah engine set up telah dipersiapkan dan bahan bakar utama telah tersedia dan diketahui kandungan *properties*nya, dilakukan uji performa dan proses pembakaran pada motor diesel menggunakan *Diesel Engine* Yanmar TF 85 MH-di dengan alternator yang ada di laboratorium *Marine PowerPlan* ITS. Tujuan dari eksperimen uji performa motor diesel satu silinder ini adalah untuk mengetahui nilai daya, torsi, SFOC, BMEP dan efisiensi thermal dari motor satu silinder dengan menggunakan bahan bakar yang telah disediakan. Tidak hanya itu dalam eksperimen ini juga mengambil data dari proses pembakaran saat dilakukannya uji performa yakni untuk mengetahui nilai dari karakteristik proses pembakaran meliputi *maximum pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay*.

## 13. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan dari penelitian. Pengumpulan data ini didapat saat dilakukannya eksperimen uji performa dan proses pembakaran pada motor diesel satu silinder berjalan, dan data yang didapat ini diambil dari empat jenis bahan bakar yang telah disediakan sebelumnya.

## 14. Analisa & Pembahasan

Pada tahap analisa dan pembahasan ini, menganalisis hasil data yang diperoleh dari eksperimen uji performa dan proses pembakaran motor diesel sebelumnya. Analisa dan pembahasan dilakukan dengan membandingkan performa dengan bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD setelah itu membandingkan proses pembakaran motor dengan bahan bakar B20 dan B20 Rh. Analisa tersebut akan dilakukan dengan menggunakan grafik perbandingan yang akan dibahas dalam penelitian ini.

## 15. Kesimpulan & Saran

Setelah semua tahap dan segala rangkaian kegiatan diatas telah dilaksanakan, tibalah pada tahap terakhir yakni menarik sebuah kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan kesimpulan dapat menjawab seluruh rumusan masalah

dan tujuan pada penelitian ini, dan selain itu diperlukan juga sebuah saran yang nantinya akan menjadi sebuah dasar dari hasil penelitian ini untuk menjadi sebuah perbaikan dipenelitian kedepannya.

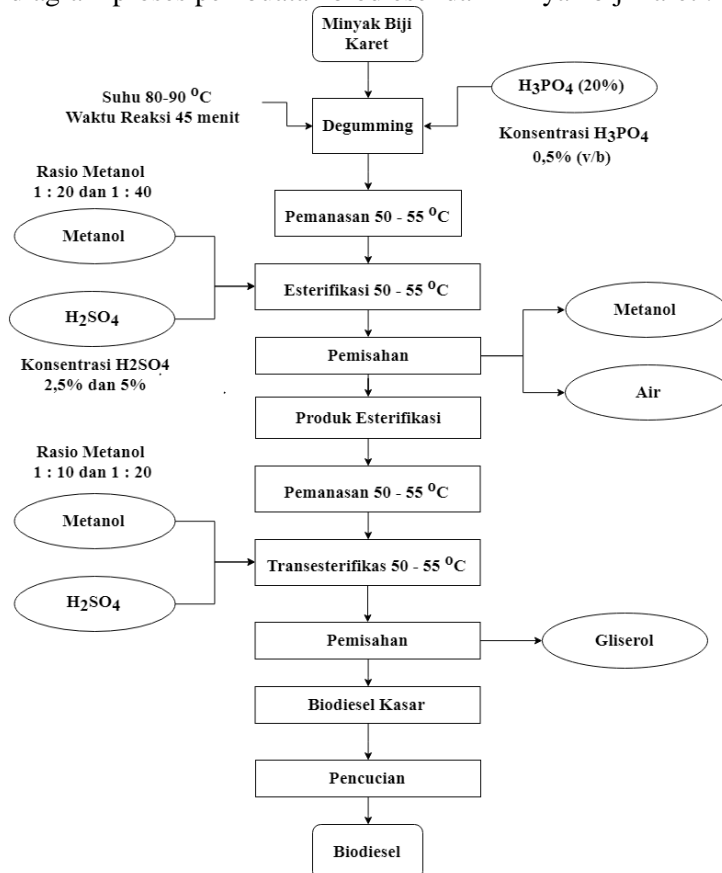
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Produksi Biodiesel

Dalam penelitian ini dilakukan sebuah eksperimen berupa sebuah biodiesel yang berasal dari minyak biji karet yang didapatkan dari biji karet. Dalam pembuatan biodiesel terdapat dua cara yakni dengan proses katalis dan non katalis. Yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan proses katalis asam maupun basa. Proses dalam pembuatan biodiesel menggunakan minyak biji karet ini dilakukan dengan proses ESTRANS (Esterifikasi – Transesterifikasi). Pada proses esterifikasi dan transesterifikasi itulah diberikan beberapa katalis untuk membuat biodiesel. Berikut adalah gambar diagram proses pembuatan biodiesel dari minyak biji karet :



Gambar 4. 1 Diagram Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Biji Karet

Pada Gambar 4. 1 diatas adalah sebuah gambar diagram dari alur proses pembuatan biodiesel minyak biji karet. Dapat dilihat pada alur tersebut biodiesel diproses dengan di *degumming* terlebih dahulu, setelah itu dilakukan proses ESTRANS (Esterifikasi – Transesterifikasi).

#### 4.1.1 Degumming Minyak Biji Karet

Minyak biji karet harus dilakukan proses *degumming* terlebih dahulu untuk menghilangkan sifat emulsifier dari zat-zat terlarut seperti gum, protein dan fosfatida. Proses *degumming* pada minyak biji karet ini dilakukan dengan metode pemanasan dan pengasaman. Yang dimaksud dengan metode pemanasan adalah dipanaskan dengan waktu reaksi selama kurang lebih 30 menit, saat dipanaskan minyak biji karet dicampurkan dengan  $H_3PO_4$  (Asam Posfat 20%) sebanyak 0,5% (v/b). Berikut adalah tahapan dari proses *degumming* :

1. Panaskan minyak biji karet didalam panci menggunakan kompor hingga mencapai suhu 80-90 °C
2. Tambahkan larutan  $H_3PO_4$  kandungan 20% sebanyak 0,5% dari volume minyak
3. Aduk minyak biji karet yang sudah dicampurkan larutan  $H_3PO_4$  secara perlahan selama 30 menit dan tetap jaga temperatur pada 80-90 °C
4. Letakkan minyak kedalam *beaker glass* dan diamkan selama 24 jam sampai terbentuk gum berwarna putih
5. Setelah itu buanglah gum yang berwarna putih

#### 4.1.2 Esterifikasi

Proses esterifikasi dapat dilakukan dengan atau tanpa menggunakan katalis. Katalis yang sering digunakan dalam proses esterifikasi adalah katalis asam, sedangkan reaksi tanpa menggunakan katalis dapat dilakukan pada suhu tinggi. Penggunaan katalis asam dapat dilakukan pada minyak dengan kadar air rendah, karena katalis asam merupakan katalisator untuk reaksi hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak dan gliserol. Semakin rendah kandungan air dalam minyak, maka semakin baik minyak tersebut untuk digunakan dalam proses esterifikasi menggunakan katalis asam (Yusuf, 2010).

Tujuan utama dari dilakukannya proses esterifikasi adalah untuk menurunkan kadar FFA (*Free Fatty Acid*) pada minyak biji karet. Sesuai dengan standar biodiesel kadar FFA dari biodiesel adalah 2,4% oleh karena itu proses ini harus dilakukan karena kadar FFA dari minyak biji karet diatas 2,4% sesuai dari penelitian – penelitian yang ada. Berikut adalah langkah – langkah dari proses esterifikasi :

1. Panaskan minyak biji karet yang sudah dilakukan degumming hingga suhu 50 – 55 °C
2. Membuat larutan metoksid berupa methanol dengan perbandingan volume 20:1 terhadap minyak sesuai dengan rekomendasi dari penelitian sebelumnya dan dicampurkan dengan  $H_2SO_4$  sebanyak 2,5% dari massa minyak.



3. Campurkan larutan metoksid kedalam minyak biji karet, aduklah selama 60 menit dan dijaga pada suhu 50 – 55 °C sesuai dengan rekomendasi dari penelitian sebelumnya.
4. Pindahkan dalam beaker glass dan diamkan selama kurang lebih 24 jam
5. Setelah terseparasi, lakukan pemisahan

#### 4.1.3 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilakukan untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak biji karet yang sudah diesterifikasi menjadi metil ester. Reaksi ini dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah kondisi minyak itu sendiri misalnya kandungan air, kandungan asam lemak bebas, dan kandungan zat terlarut maupun tak terlarut yang dapat mempengaruhi reaksi. Faktor eksternal adalah kondisi yang bukan berasal dari minyak dan dapat mempengaruhi reaksi. Faktor eksternal diantaranya adalah suhu reaksi, waktu reaksi, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis, serta jumlah rasio molar metanol terhadap minyak. Paramater yang diamati pada tahapan penelitian ini, yakni meliputi viskositas kinematik, rendemen, dan bilangan asam (Yusuf, 2010).

Tujuan utama dari proses transesterifikasi ini adalah untuk memisahkan metil ester dengan gliserol. Pada proses transesterifikasi ini menggunakan methanol dengan katalis KOH. Berikut adalah langkah – langkah dari proses transesterifikasi sesuai dari rekomendasi penelitian – penelitian sebelumnya :

1. Panaskan minyak biji karet yang sudah melalui proses esterifikasi hingga suhu 50 – 55 °C
2. Membuat larutan metoksid berupa methanol dengan perbandingan volume 10:1 terhadap minyak dan dicampurkan dengan KOH sebanyak 1% dari massa minyak.
3. Campurkan larutan metoksid kedalam minyak biji karet sambil melakukan pengadukan selama 45 menit dan dijaga pada suhu 50 – 55 °C
4. Pindahkan kedalam gelas ukur dan diamkan selama kurang lebih 24 jam
5. Setelah terseparasi, lakukan pemisahan antara gliserol dengan methyl ester

#### 4.1.4 Proses Pencucian

Setelah proses transesterifikasi telah selesai dilakukan sebenarnya hal tersebut sudah bisa dikatakan dari akhir pembuatan biodiesel, tetapi biodiesel tersebut masih dalam kategori kasar. Oleh karena itu harus dilakukan proses pencucian pada biodiesel kasar tersebut dalam maksud untuk memisahkan larutan metoksid yang tersisah dan menjadikan biodiesel kasar tersebut menjadi biodiesel jernih. Proses pencucian dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan aquades, berikut adalah langkah – langkah dari proses pencucian :

- 1 Tuangkan aquades hangat dengan kadar 1:1 kedalam biodiesel minyak biji karet

- 2 Aduk hingga merata
- 3 Diamkan selama kurang lebih 12 jam hingga terjadi separasi antara air dengan minyak
- 4 Pisahkan air dengan minyak dan lakukan sebanyak dua kali

## 4.2 Properties Biodiesel Minyak Biji Karet

Setelah melewati seluruh proses pembuatan dari biodiesel biji karet ini, hal yang perlu diperhatikan adalah nilai properties dari biodiesel biji karet tersebut. Karena biodiesel sendiri memiliki standar, dimana standar tersebut memberi batasan – batasan nilai dari beberapa parameter uji seperti nilai viskositas dari biodiesel, flash point, pour point, densitas dan nilai kalor. Dalam pengecekan properties pada biodiesel juga tidak hanya sekedar, melainkan memiliki metode pengujiannya. Oleh karena itu dalam maksud untuk mengetahui apakah hasil biodiesel yang sudah dibuat dengan cara proses estrans ini standar atau tidak, harus dilakukan pengecekan di lab. Pada penelitian ini pengujian biodiesel biji karet ini diuji propertiesnya di LPPM ITS (Laboratorium Energi ITS). Berikut adalah hasil dari properties biodiesel biji karet (B100).

Table 4. 1 Properties Biodiesel Minyak Biji Karet

| Bahan Bakar          | Parameter Uji                | Satuan             | Standar Biodiesel SNI        | Hasil | Metode Pengujian |
|----------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|-------|------------------|
| Biodiesel Biji Karet | Kinematic Viscosity at 40 °C | cSt                | 2,3 – 6 cSt                  | 5,12  | ASTM D 445-97    |
|                      | Flash Point                  | °C                 | Min 100 °C                   | 173   | ASTM D 93-00     |
|                      | Pour Point                   |                    | Maks 18 °C                   | 3     | ASTM D 97-85     |
|                      | Nilai Kalor                  | Cal/gr             | 42.398.333,316 J/kg          | 9,478 | Bomb Kalorimeter |
|                      | Density 15 °C                | gr/cm <sup>3</sup> | 850 – 890 kg/cm <sup>3</sup> | 0,883 | Piknometer       |

Table 4. 2 Properties Biodiesel Minyak Biji Karet Penelitian Sebelumnya

| Parameter                  | Satuan          | Metil Ester Biji Karet | Standar     | Metode Pengukuran |
|----------------------------|-----------------|------------------------|-------------|-------------------|
| Bilangan Asam              | mg KOH/g sampel | 0,22                   | Maks 0,8    | ASTM D-664        |
| Viskositas kinematik 40 °C | cSt             | 4,77                   | 1,9 – 6     | ASTM D-445        |
| Densitas 15 °C             | g/ml            | 0,887                  | 0,85 – 0,89 | ASTM D-1298       |
| Titik nyala                | °C              | 103                    | Min 100     | ASTM D-92         |
| Bilangan Penyabunan        | mg KOH/g sampel | 225,90                 |             |                   |
| Bilangan Ester Teoritis    | mg KOH/g sampel | 225,68                 |             |                   |

(Sumber : Yusuf, 2010)

Dapat dilihat pada Table 4.2 diatas adalah properties dari biodiesel minyak karet yang telah diteliti oleh penelitian sebelumnya. Jika dibandingkan dengan properties pada Table 4.1, dapat dilihat dari hasil nilai viskositas, densitas dan titik nyala (*Flash Point*) kedua table tersebut masuk kedalam nilai standar biodiesel. Jika dilihat dari nilai viskositas pada properties penelitian sebelumnya memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan properties penelitian ini. Untuk nilai densitas pada properties penelitian sebelumnya tidak jauh berbeda dengan properties penelitian ini dan untuk nilai titik nyala (*Flash Point*) properties pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan properties penelitian sebelumnya.

#### **4.2.1 Densitas (Berat Jenis)**

Densitas adalah perbandingan antara massa dengan volume bahan bakar. Densitas dari suatu jenis bahan bakar dipengaruhi oleh temperaturnya, dimana semakin tinggi temperatur maka densitasnya semakin turun, sebaliknya jika temperatur semakin rendah maka densitasnya akan semakin tinggi. Pada pengujian bahan bakar biodiesel biji karet ini mengukur densitas pada temperatur 15°C, yang dimana mengacu pada SNI untuk biodiesel (Standar Nasional Indonesia). Densitas pada biodiesel biji karet memiliki nilai sebesar 883kg/m<sup>3</sup>. Nilai densitas yang didapatkan pada biodiesel biji karet ini telah memenuhi standar dari SNI dimana yang memiliki batas nilai 850 – 890 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.2.2 Viskositas**

Viskositas merupakan ukuran kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Viskositas dari bahan bakar sangatlah berpengaruh pada proses atomisasi bahan bakar pada saat peninjeksian ke ruang bakar. Jika viskositas terlalu tinggi maka memiliki atomisasi yang rendah sehingga pembakaran kurang sempurna dan engine mengalami susah start pada awal dinyalakan. Namun, jika viskositas terlalu kecil mengakibatkan keausan pada komponen pompa injeksi dan mempercepat kerusakan pada pompa injeksi. Menurut Standar Nasional Indonesia biodiesel menyebutkan bahwa viskositas dari biodiesel harus mempunyai nilai antara 2,3 – 6 Cst. Nilai viskositas pada biodiesel biji karet menunjukkan nilai sebesar 5,12 cst. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai viskositas dari biodiesel biji karet sudah memenuhi standard kualitas berdasarkan SNI.

#### **4.2.3 Flash Point (Titik Nyala)**

Flash point adalah temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar (biodiesel) akan terbakar dengan cepat (meledak). Flash Point menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi flash point, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Menurut Standar ASTM memiliki batas standard minimal sebesar 100°C. Pada penelitian kali ini, didapatkan nilai titik nyala dari biodiesel biji kapuk sebesar 173°C. Dapat disimpulkan bahwa biodiesel biji karet ini telah lulus standar.

#### 4.2.4 Pour Point (Titik Tuang)

Titik tuang merupakan batas temperatur tuang dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin atau berupa pengentalan yang dapat menyumbat sistem bahan bakar dan injektor. Bahan bakar dengan titik tuang yang tinggi atau mendekati temperatur normal, bahan bakar akan susah mengalir sempurna pada sistem bahan bakar dan akan mengalami atomisasi yang kurang baik yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Pada biodiesel biji karet memiliki nilai titik tuang sebesar 3°C, dimana nilai tersebut telah memenuhi standar dari biodiesel nasional yang memiliki batas nilai sebesar maksimal 18°C.

#### 4.2.5 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi ke keadaan dari reaktan. Besarnya nilai kalor dari suatu bahan bakar sama dengan harga mutlak dari entalpi pembakaran bahan bakar. Nilai kalor biasanya digunakan pada bahan bakar dan merupakan karakteristik dari bahan bakar tersebut. Terdapat dua jenis nilai kalor yaitu:

- a. HHV (*Higher Heating Value*), yaitu nilai kalor atas. Nilai kalor atas ditentukan pada saat H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk cairan.
- b. LHV (*Lower Heating Value*), yaitu nilai kalor bawah. Nilai kalor bawah ditentukan pada saat H<sub>2</sub>O pada produk pembakaran berbentuk gas.

Pada biodiesel biji karet didapatkan nilai kalor sebesar 9.478 cal/gr atau setara dengan 39.314.744 J/kg, dimana nilai tersebut telah memenuhi standard biodiesel nasional yaitu maksimal 42.398.333,316 J/kg.

### 4.3 Proses Pencampuran Katalis Rhodium Liquid Dalam Biodiesel B20

Pada proses pencampuran katalis rhodium terhadap bahan bakar B20, dilakukan dengan cara metode pencampuran homogen. Pencampuran homogen adalah suatu campuran yang terdiri dari 2 bahan atau lebih dalam fase yang sama. Pada percobaan pencampuran ini, dilakukan dengan menggunakan mixer pada putaran kurang lebih 1500 rpm. Dalam percobaan pencampuran ini dilakukan beberapa variasi lama waktunya pencampuran, dan hasil yang terbaik dalam pencampuran homogen ini adalah 12 jam pada campuran 500ml B20 dengan 2% katalis rhodium liquid.

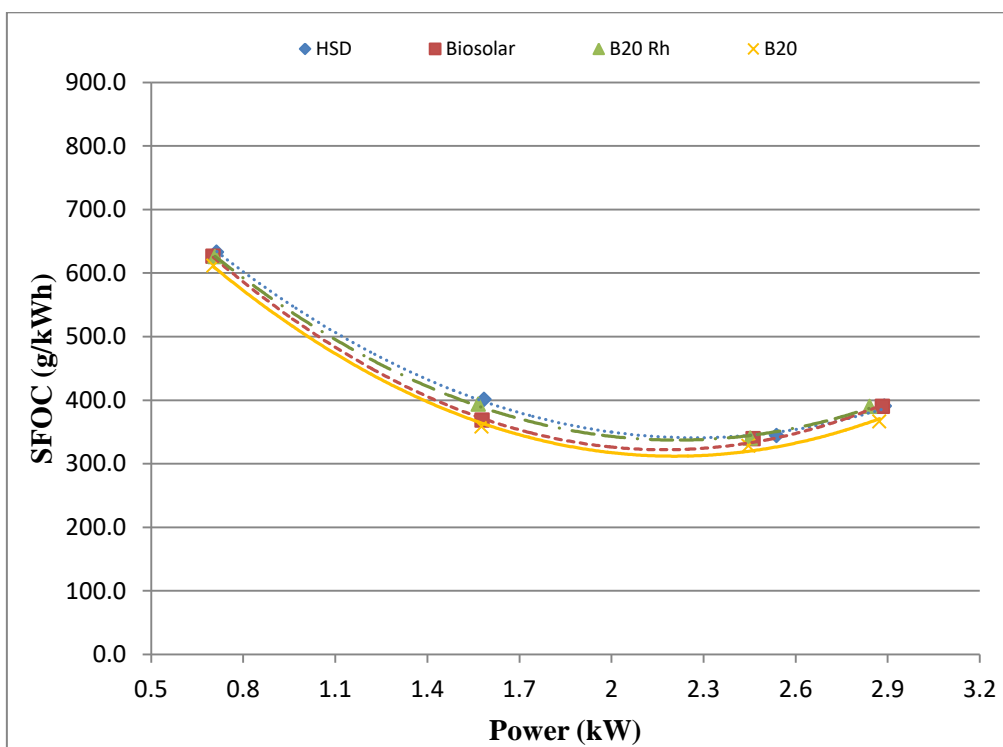
### 4.4 Analisa Pengaruh Katalis Rhodium Terhadap Biodiesel B20 Dalam Uji Performa dan Proses Pembakaran Motor Diesel

Motor diesel adalah sebuah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang dimana pembakaran terjadi dikarenakan udara panas kompresi, berbeda dengan motor bensin yang menggunakan busi sebagai alat pemicu pembakaran pada saat penginjeksian bahan bakar kedalam ruang bakar.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan sebuah uji performansi dan proses pembakaran pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji karet, yang dimana pada bahan bakar tersebut akan dicampurkan dengan katalis rhodium. Tujuannya untuk mengetahui hasil performansi dan proses pembakaran pada bahan bakar biodiesel biji karet yang sudah dicampur rhodium dan yang tidak.

Jenis bahan bakar yang akan digunakan pada saat uji performansi yakni ada 4 jenis, diantaranya B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD. Untuk bahan bakar Biosolar dan Solar HSD digunakan sebagai bahan bakar pembanding. Hasil dari eksperimen ini nantinya akan menentukan performa motor diesel secara menyeluruh terutama pada pembebanan masing – masing putaran. Putaran mesin yang digunakan dalam eksperimen sebanyak 5 variasi yang dimulai dari 1800 rpm sampai dengan 2200 rpm. Dalam penelitian uji perfoma dari motor diesel ini, diperlukan beberapa rumus perhitungan yang terdapat pada lampiran untuk mengetahui cara analisa dan pembahasan mengenai konsumsi bahan bakar spesifik (SFOC), daya, torsi, BMEP, serta efisiensi thermal.

#### 4.4.1 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1800 Rpm.

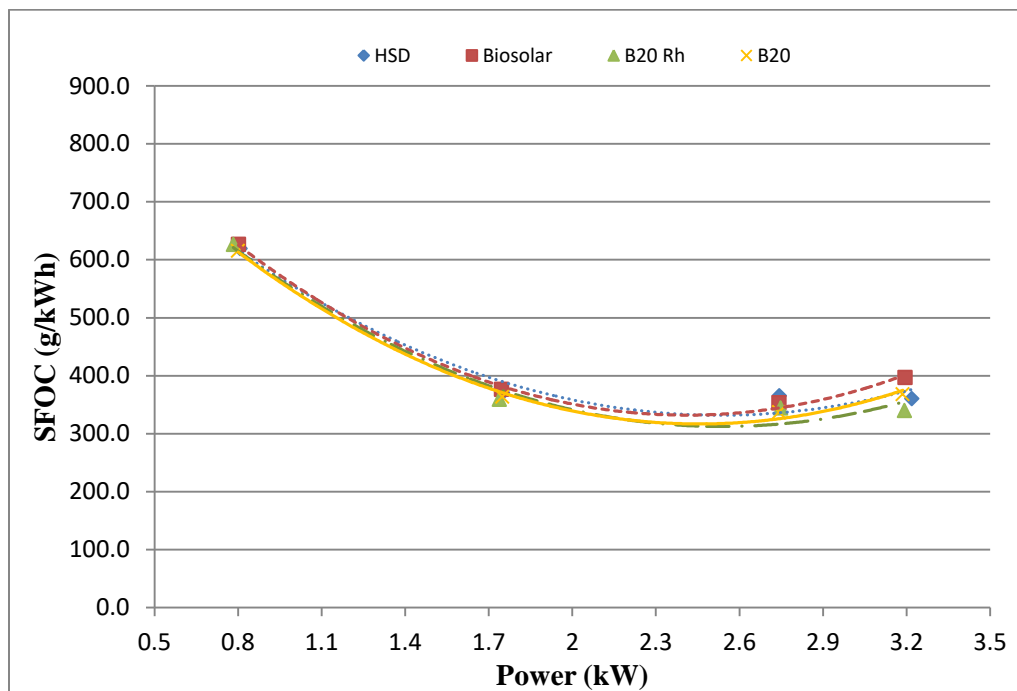


Grafik 4. 1 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1800 Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.1 diatas, dapat dilihat perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD pada 1800 Rpm. Nilai SFOC yang paling rendah didapatkan oleh bahan bakar B20 dengan nilai

328,2 g/kWh. Dapat disimpulkan bahwa pada Rpm 1800 bahan bakar yang memiliki nilai paling rendah adalah bahan bakar B20, yang diikuti dengan bahan bakar Biosolar dengan nilai 339,1 g/kWh dilanjut dengan bahan bakar B20 Rh yang memiliki nilai 340,01 g/kWh. SFOC tertinggi didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai 343,9 g/kWh, lebih tinggi 15,7 g/kWh dari bahan bakar B20.

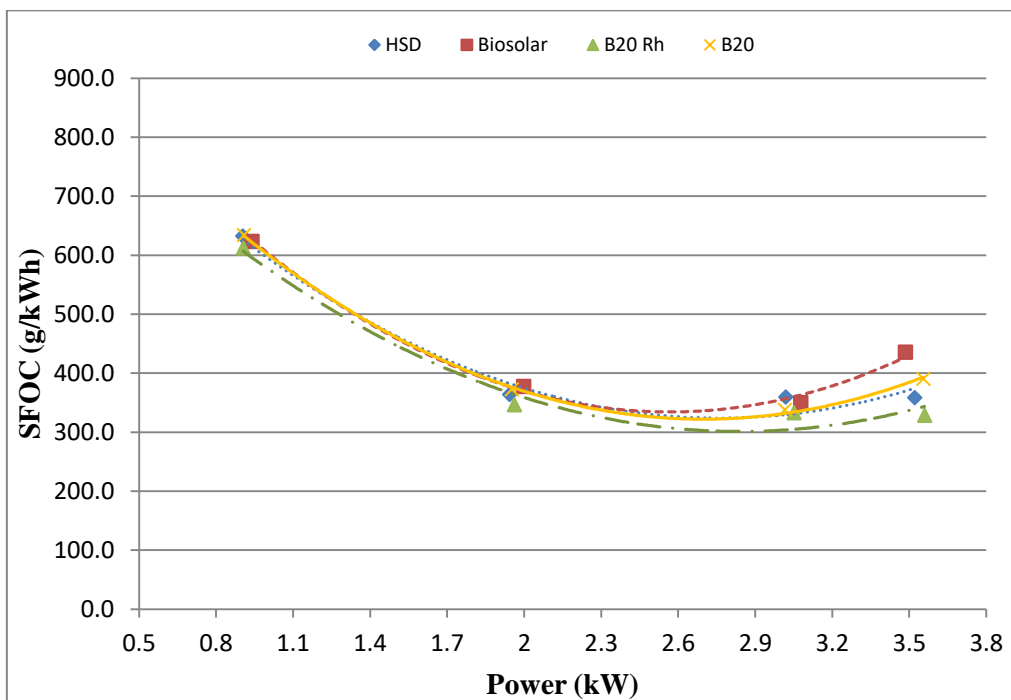
#### 4.4.2 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1900 Rpm.



Grafik 4. 2 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 1900 Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.2 diatas, dapat dilihat perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD pada 1900 Rpm. Nilai SFOC yang paling rendah didapatkan oleh bahan bakar B20 dengan nilai 337,3 g/kWh. Dapat disimpulkan bahwa pada Rpm 1900 bahan bakar yang memiliki nilai paling rendah adalah bahan bakar B20, yang diikuti dengan bahan bakar B20 Rh dengan nilai 340 g/kWh dilanjut dengan bahan bakar Biosolar yang memiliki nilai 353,3 g/kWh. SFOC tertinggi didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai 360,5 g/kWh, lebih tinggi 23,2 g/kWh dari bahan bakar B20.

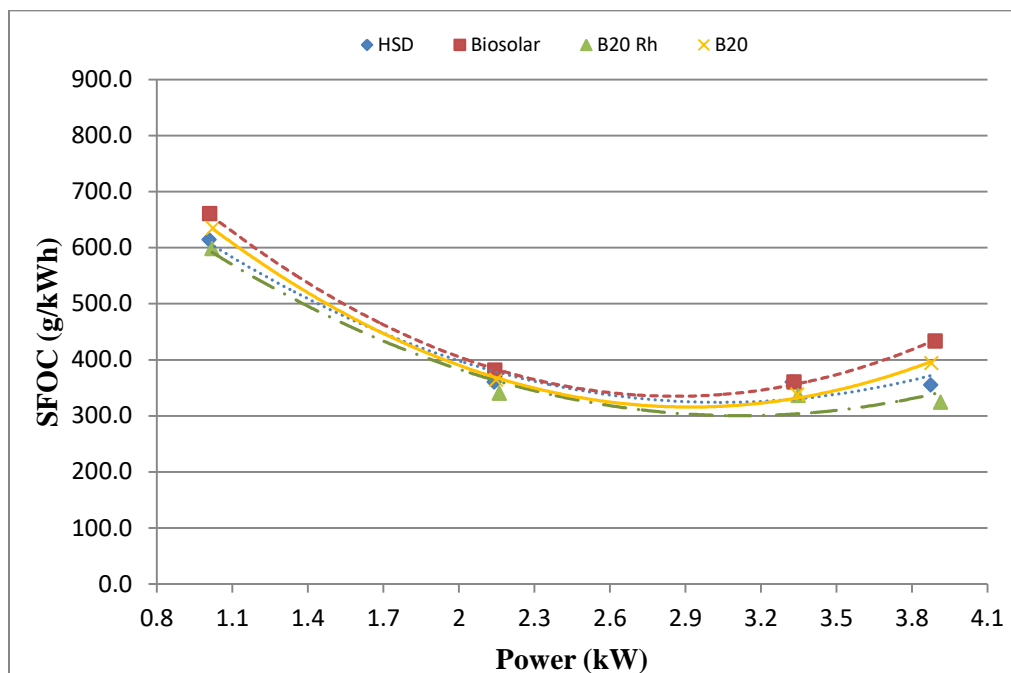
#### 4.4.3 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2000 Rpm.



Grafik 4. 3 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2000 Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.3 diatas, dapat dilihat perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD pada 2000 Rpm. Nilai SFOC yang paling rendah didapatkan oleh bahan bakar B20 Rh dengan nilai 328,2 g/kWh. Dapat disimpulkan bahwa pada Rpm 2000 bahan bakar yang memiliki nilai paling rendah adalah bahan bakar B20 Rh, yang diikuti dengan bahan bakar B20 dengan nilai 337,4 g/kWh dilanjut dengan bahan bakar Biosolar yang memiliki nilai 349,2 g/kWh. SFOC tertinggi didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai 358,02 g/kWh, lebih tinggi 29,82 g/kWh dari bahan bakar B20 Rh.

#### 4.4.4 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2100 Rpm.

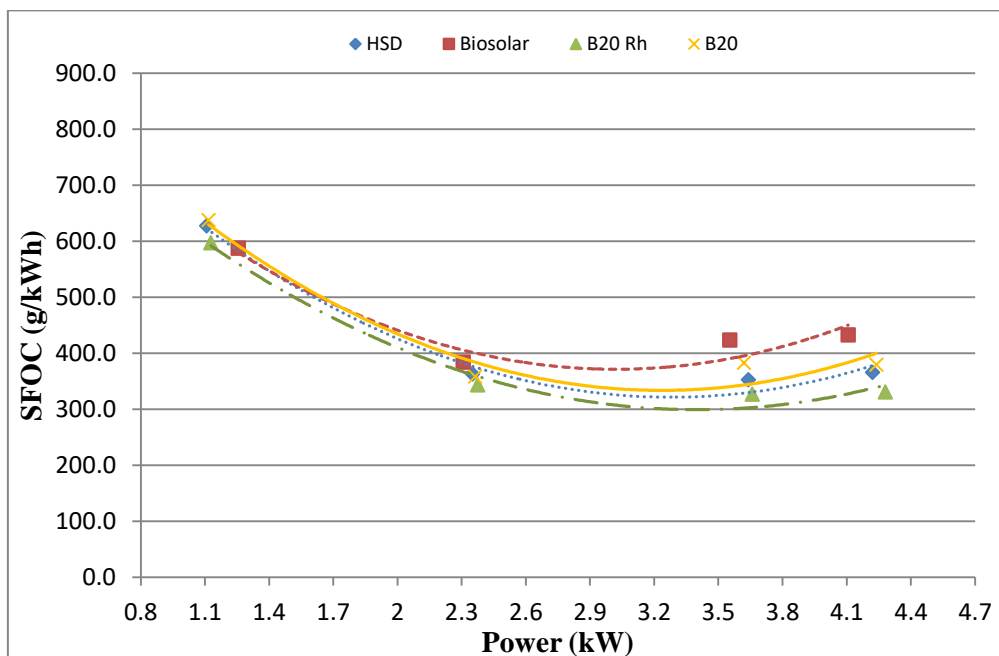


Grafik 4. 4 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada 2100 Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.4 diatas, dapat dilihat perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD pada 2100 Rpm. Nilai SFOC yang paling rendah didapatkan oleh bahan bakar B20 Rh dengan nilai 324,4 g/kWh. Dapat disimpulkan bahwa pada Rpm 2100 bahan bakar yang memiliki nilai paling rendah adalah bahan bakar B20 Rh, yang diikuti dengan bahan bakar B20 dengan nilai 338 g/kWh dilanjut dengan bahan bakar HSD yang memiliki nilai 355,1 g/kWh. SFOC tertinggi didapat pada bahan bakar Bio Solar dengan nilai 359,8 g/kWh, lebih tinggi 35,4 g/kWh dari bahan bakar B20 Rh.



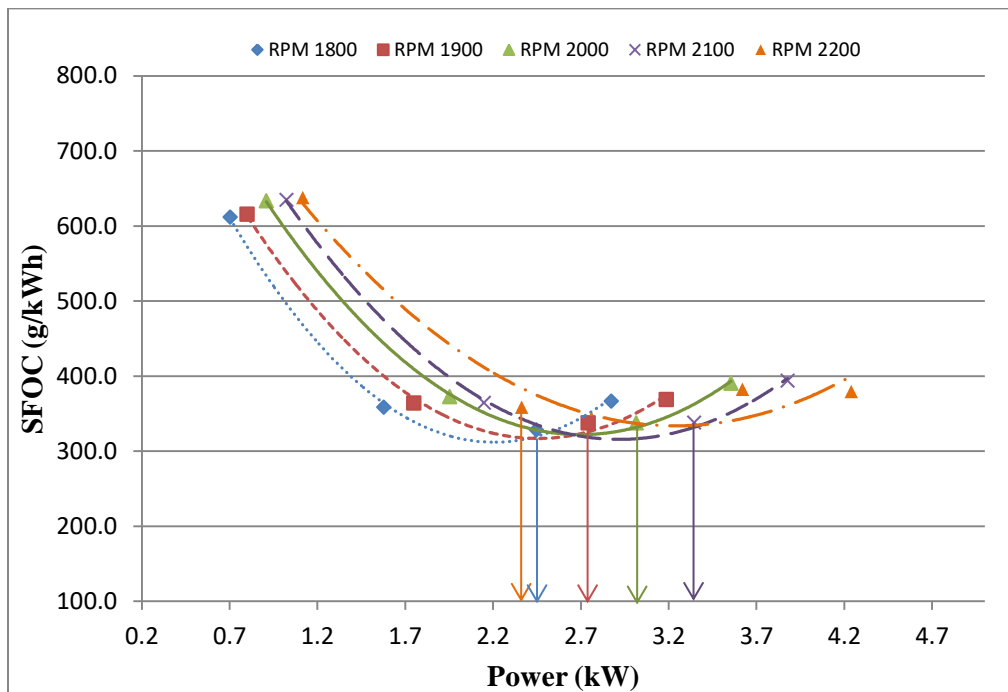
#### 4.4.5 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2200 Rpm.



Grafik 4. 5 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD Pada 2200 Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.5 diatas, dapat dilihat perbandingan antara daya dengan SFOC terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD pada 2200 Rpm. Nilai SFOC yang paling rendah didapatkan oleh bahan bakar B20 Rh dengan nilai 326,7 g/kWh. Dapat disimpulkan bahwa pada Rpm 2200 bahan bakar yang memiliki nilai paling rendah adalah bahan bakar B20 Rh, yang diikuti dengan bahan bakar HSD dengan nilai 352,4 g/kWh dilanjut dengan bahan bakar B20 yang memiliki nilai 358,2 g/kWh. SFOC tertinggi didapat pada bahan bakar Bio Solar dengan nilai 383,6 g/kWh, lebih tinggi 56,9 g/kWh dari bahan bakar B20 Rh.

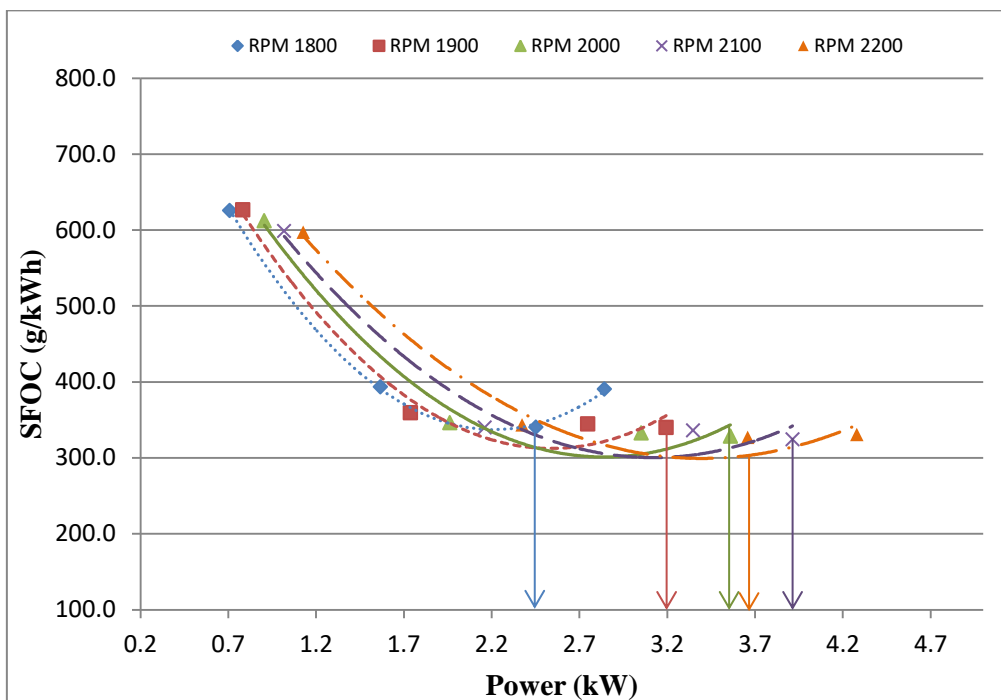
#### 4.4.6 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Pada Setiap Rpm.



Grafik 4. 6 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Pada Setiap Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.6 diatas, dapat dilihat bahwa ketika berada pada beban 25 – 100% terhadap setiap rpm terdapat perbedaan baik itu pada daya maupun SFOC. Pada beban 25 – 100% terhadap rpm 1800 – 2200, daya yang dihasilkan terus meningkat berlawanan dengan SFOC yang dimana terus menurun. Tetapi pada beban 100% terhadap rpm 1800 – 2100 dan beban 75 – 100% terhadap rpm 2200 SFOC mengalami kenaikan. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa pada setiap penambahan rpm maupun beban, daya terus mengalami peningkatan nilai berbeda dengan SFOC yang mengalami penurunan dan kenaikan. Sehingga didapatkan kondisi yang paling optimal terhadap bahan bakar B20 terletak pada rpm 2100 beban 75% dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,344 kW dan nilai SFOC sebesar 338 gr/kWh.

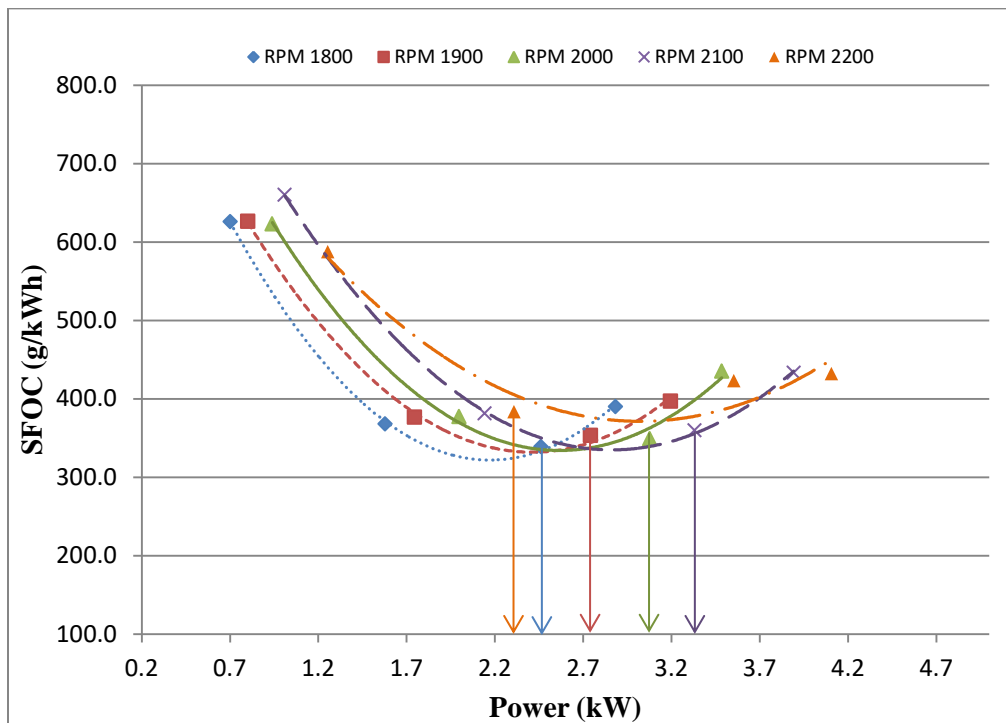
#### 4.4.7 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Rh Pada Setiap Rpm.



Grafik 4. 7 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar B20 Rh Pada Setiap Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.7 diatas, dapat dilihat bahwa ketika berada pada beban 25 – 100% terhadap setiap rpm terdapat perbedaan baik itu pada daya maupun SFOC. Pada beban 25 – 100% terhadap rpm 1800 – 2200, daya yang dihasilkan terus meningkat berlawanan dengan SFOC yang dimana terus menurun. Tetapi pada beban 100% terhadap rpm 1800 dan 2200 SFOC mengalami kenaikan. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa pada setiap penambahan rpm maupun beban, daya terus mengalami peningkatan nilai berbeda dengan SFOC yang mengalami penurunan dan kenaikan. Sehingga didapatkan kondisi yang paling optimal terhadap bahan bakar B20 Rh terletak pada rpm 2100 beban 100% dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,914 kW dan nilai SFOC sebesar 324,4 gr/kWh.

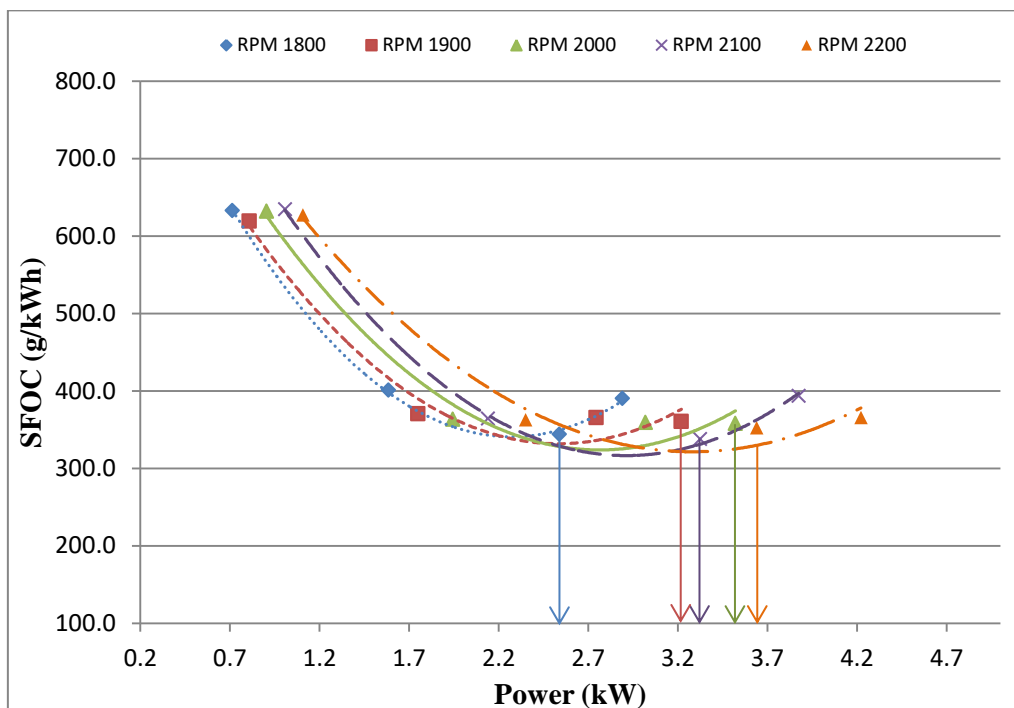
#### 4.4.8 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar Bio Solar Pada Setiap Rpm.



Grafik 4. 8 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar Biosolar Pada Setiap Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.8 diatas, dapat dilihat bahwa ketika berada pada beban 25 – 100% terhadap setiap rpm terdapat perbedaan baik itu pada daya maupun SFOC. Pada beban 25 – 100% terhadap rpm 1800 – 2200, daya yang dihasilkan terus meningkat berlawanan dengan SFOC yang dimana terus menurun. Tetapi pada beban 100% terhadap rpm 1800 – 2100 dan beban 75 – 100% terhadap rpm 2200 SFOC mengalami kenaikan. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa pada setiap penambahan rpm maupun beban, daya terus mengalami peningkatan nilai berbeda dengan SFOC yang mengalami penurunan dan kenaikan. Sehingga didapatkan kondisi yang paling optimal terhadap bahan bakar Biosolar terletak pada rpm 2100 beban 75% dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,332 kW dan nilai SFOC sebesar 359,8 gr/kWh.

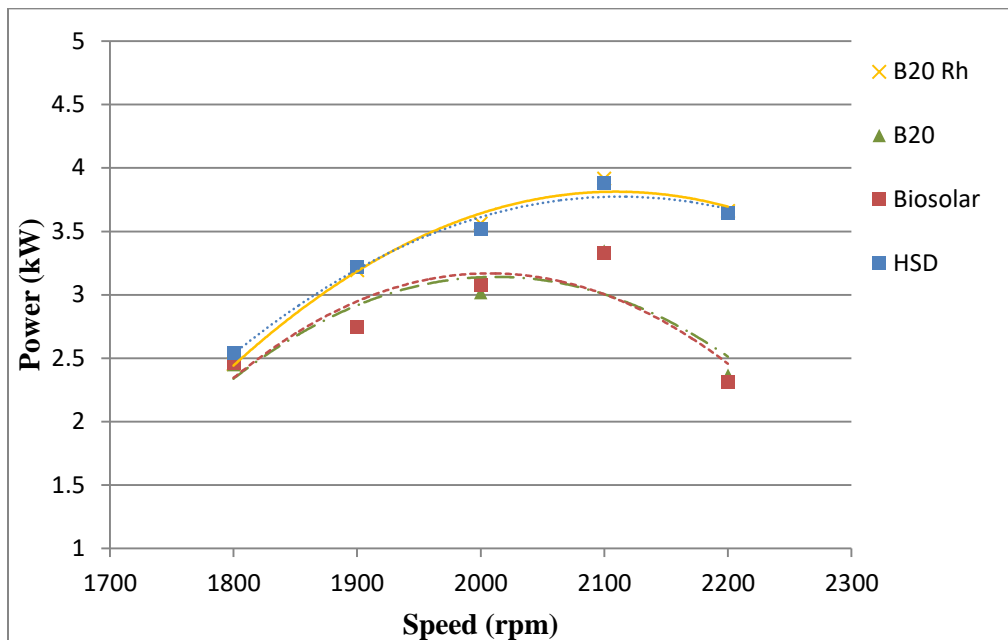
#### 4.4.9 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar HSD Pada Setiap Rpm.



Grafik 4. 9 Perbandingan Antara Daya Dengan SFOC Terhadap Jenis Bahan Bakar HSD Pada Setiap Rpm

Berdasarkan dari Grafik 4.9 diatas, dapat dilihat bahwa ketika berada pada beban 25 – 100% terhadap setiap rpm terdapat perbedaan baik itu pada daya maupun SFOC. Pada beban 25 – 100% terhadap rpm 1800 – 2200, daya yang dihasilkan terus meningkat berlawanan dengan SFOC yang dimana terus menurun. Tetapi pada beban 100% terhadap rpm 1800 dan 2200 SFOC mengalami kenaikan. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa pada setiap penambahan rpm maupun beban, daya terus mengalami peningkatan nilai berbeda dengan SFOC yang mengalami penurunan dan kenaikan. Sehingga didapatkan kondisi yang paling optimal terhadap bahan bakar HSD terletak pada rpm 2100 beban 100% dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,875 kW dan nilai SFOC sebesar 355,1 gr/kWh.

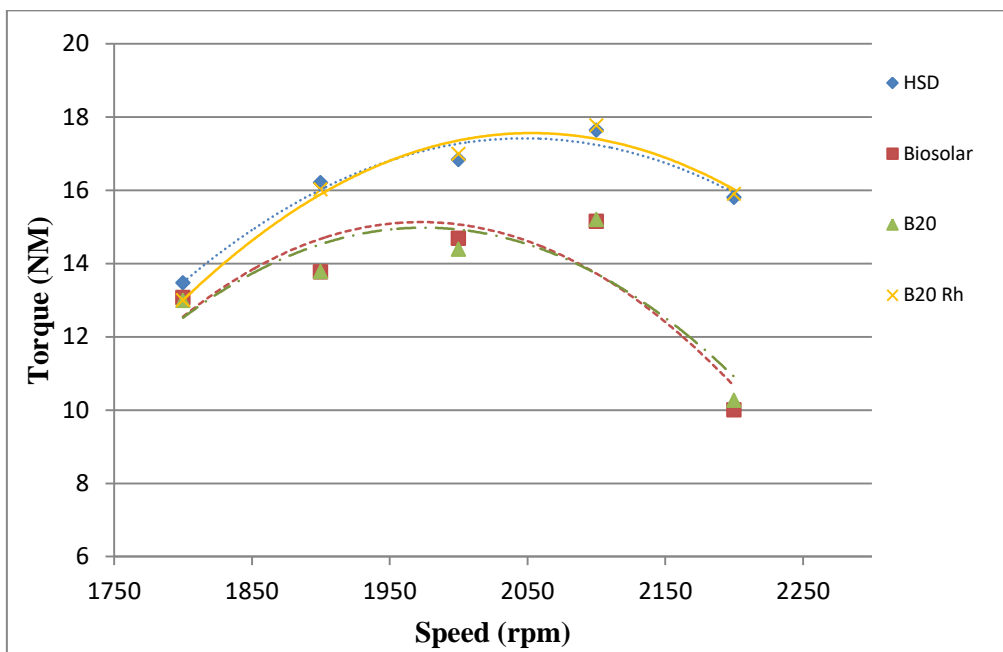
#### 4.4.10 Perbandingan Antara Daya Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD



Grafik 4. 10 Perbandingan Antara Daya Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD

Berdasarkan dari Grafik 4.10 diatas, dapat dilihat perbandingan daya maksimal dengan putaran mesin dengan setiap jenis bahan bakar yang terdiri dari B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD. Dimana nilai daya maksimal didapatkan dari nilai SFOC terendah pada setiap rpm. Daya maksimal ataupun bisa dikatakan daya puncak terdapat pada rpm 2100, dimana dapat disimpulkan bahwa rpm 2100 adalah *peak power* dari mesin tersebut. Dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh didapatkan daya maksimal sebesar 3,914 kW, bahan bakar B20 didapatkan daya maksimal sebesar 3,344 kW, bahan bakar Biosolar didapatkan daya maksimal sebesar 3,332 kW dan bahan bakar HSD didapatkan daya maksimal sebesar 3,875 kW. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, bahan bakar yang memiliki daya maksimal terbesar dimiliki oleh bahan bakar B20 Rh, lebih besar 0,038 kW dari HSD dan lebih besar 0,56 kW dari B20. Sedangkan nilai daya maksimal yang paling rendah di rpm 2100 dimiliki oleh bahan bakar Biosolar.

#### 4.4.11 Perbandingan Antara Torsi Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD

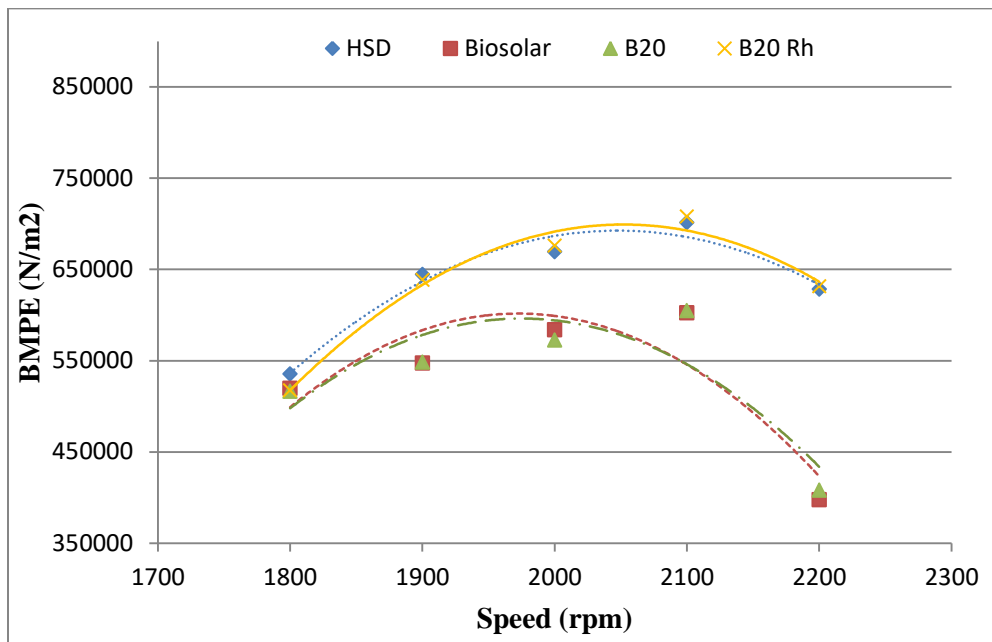


Grafik 4. 11 Perbandingan Antara Torsi Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD

Berdasarkan dari Grafik 4.11 diatas, dapat dilihat perbandingan torsi maksimal dengan putaran mesin dengan setiap jenis bahan bakar yang terdiri dari B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD.

Dimana nilai torsi maksimal didapatkan dari nilai SFOC terendah pada setiap rpm. Torsi maksimal ataupun bisa dikatakan torsi puncak terdapat pada rpm 2100, dimana dapat disimpulkan bahwa rpm 2100 adalah torsi puncak dari mesin tersebut. Dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh didapatkan torsi maksimal sebesar 17,77 Nm, bahan bakar B20 didapatkan torsi maksimal sebesar 15,2 Nm, bahan bakar Biosolar didapatkan torsi maksimal sebesar 15,14 Nm dan bahan bakar HSD didapatkan torsi maksimal sebesar 17,63 Nm. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, bahan bakar yang memiliki torsi maksimal terbesar dimiliki oleh bahan bakar B20 Rh, lebih besar 0,134 Nm dari HSD dan lebih besar 2,57 Nm dari B20. Sedangkan nilai torsi maksimal yang paling rendah di rpm 2100 dimiliki oleh bahan bakar Biosolar.

#### 4.4.12 Perbandingan BMEP Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD

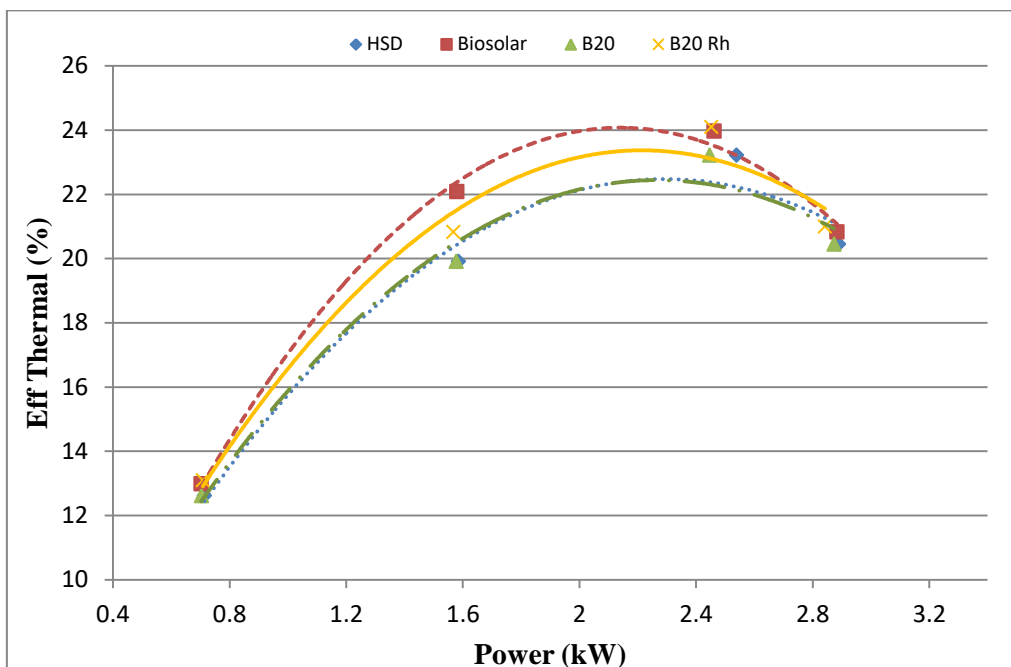


Grafik 4. 12 Perbandingan BMEP Maksimal Dengan Putaran Mesin Pada Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD

Berdasarkan dari Grafik 4.12 diatas, dapat dilihat perbandingan BMEP maksimal dengan putaran mesin dengan setiap jenis bahan bakar yang terdiri dari B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD. Dimana nilai BMEP maksimal didapatkan dari nilai SFOC terendah pada setiap rpm. BMEP maksimal ataupun bisa dikatakan BMEP puncak terdapat pada rpm 2100, dimana dapat disimpulkan bahwa rpm 2100 adalah BMEP puncak dari mesin tersebut. Dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh didapatkan BMEP maksimal sebesar  $707940 \text{ N/m}^2$ , bahan bakar B20 didapatkan BMEP maksimal sebesar  $604901 \text{ N/m}^2$ , bahan bakar Biosolar didapatkan BMEP maksimal sebesar  $602306 \text{ N/m}^2$  dan bahan bakar HSD didapatkan BMEP maksimal sebesar  $701264 \text{ N/m}^2$ . Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, bahan bakar yang memiliki BMEP maksimal terbesar dimiliki oleh bahan bakar B20 Rh, lebih besar  $6675 \text{ N/m}^2$  dari HSD dan lebih besar  $103038 \text{ N/m}^2$  dari B20. Sedangkan nilai BMEP maksimal yang paling rendah di rpm 2100 dimiliki oleh bahan bakar Biosolar.



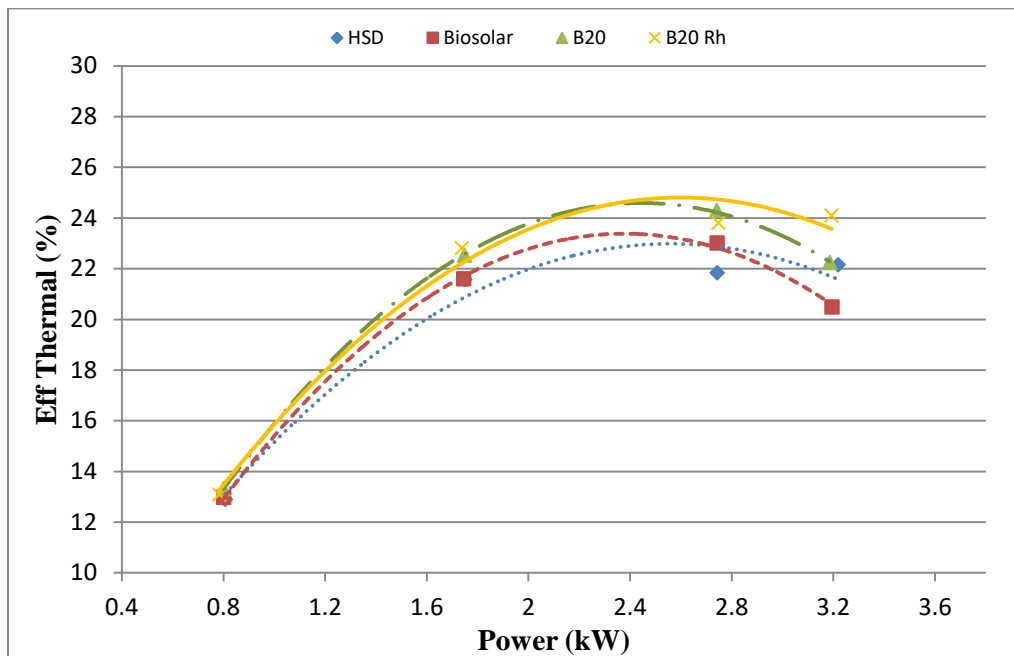
#### 4.4.13 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1800



Grafik 4. 13 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1800

Berdasarkan dari Grafik 4.13 diatas, dapat dilihat perbandingan antara efisiensi thermal dengan daya terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD terhadap rpm 1800. Dapat dilihat pada rpm 1800, bahan bakar B20 adalah bahan bakar yang memiliki nilai efisiensi thermal tertinggi dengan nilai sebesar 24,96%. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh didapat nilai sebesar 24,09% , dengan menggunakan bahan bakar Biosolar didapat nilai sebesar 23,96% dan dengan menggunakan bahan bakar HSD didapat nilai sebesar 23,21%. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar B20 memiliki nilai efisiensi thermal lebih besar 0,87% dari bahan bakar B20 Rh dan lebih besar 0,99% dari bahan bakar Biosolar. Sedangkan nilai efisiensi thermal yang paling rendah di rpm 1800 dimiliki oleh bahan bakar HSD.

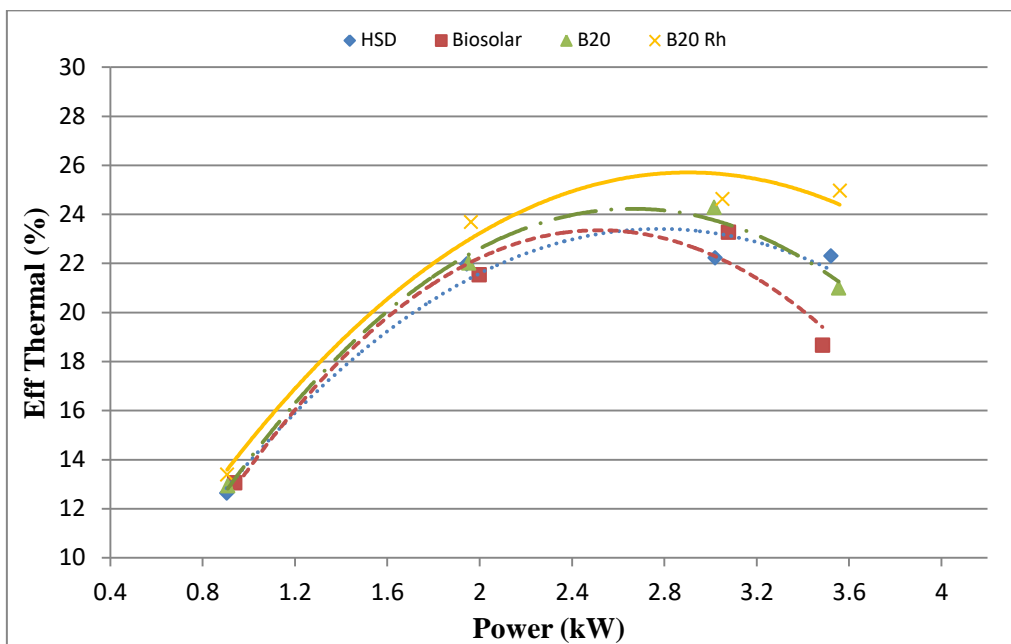
#### 4.4.14 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1900



Grafik 4. 14 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 1900

Berdasarkan dari Grafik 4.14 diatas, dapat dilihat perbandingan antara efisiensi thermal dengan daya terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD terhadap rpm 1900. Dapat dilihat pada rpm 1900, bahan bakar B20 adalah bahan bakar yang memiliki nilai efisiensi thermal tertinggi dengan nilai sebesar 24,29%. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh didapat nilai sebesar 24,09% , dengan menggunakan bahan bakar Biosolar didapat nilai sebesar 23,00% dan dengan menggunakan bahan bakar HSD didapat nilai sebesar 22,14%. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar B20 memiliki nilai efisiensi thermal lebih besar 0,19% dari bahan bakar B20 Rh dan lebih besar 1,29% dari bahan bakar Biosolar. Sedangkan nilai efisiensi thermal yang paling rendah di rpm 1900 dimiliki oleh bahan bakar HSD.

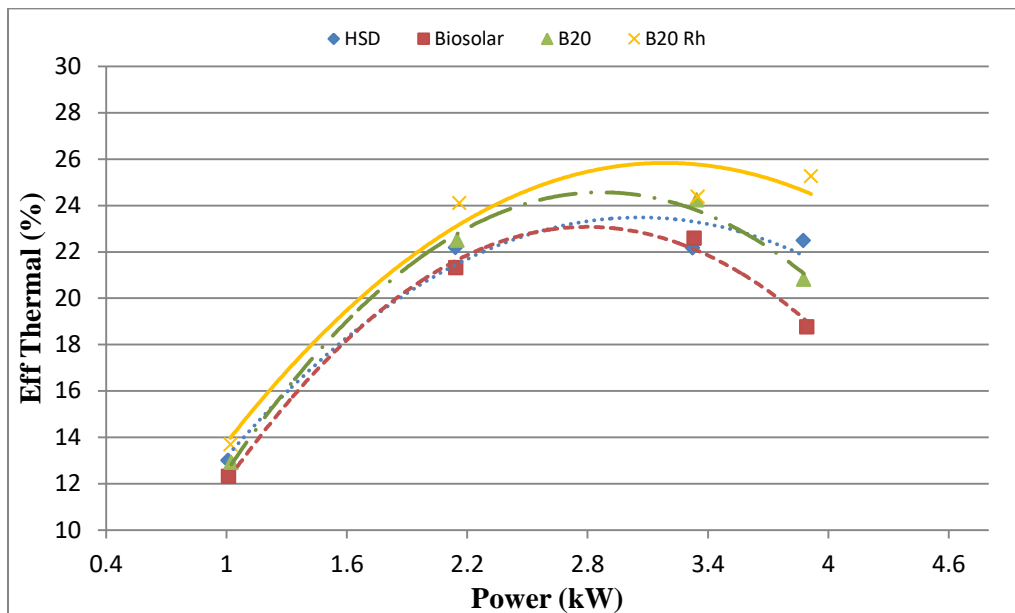
#### 4.4.15 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2000



Grafik 4. 15 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2000

Berdasarkan dari Grafik 4.15 diatas, dapat dilihat perbandingan antara efisiensi thermal dengan daya terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD terhadap rpm 2000. Dapat dilihat pada rpm 2000, bahan bakar B20 Rh adalah bahan bakar yang memiliki nilai efisiensi thermal tertinggi dengan nilai sebesar 24,96%. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar B20 didapat nilai sebesar 24,28% , dengan menggunakan bahan bakar Biosolar didapat nilai sebesar 23,26% dan dengan menggunakan bahan bakar HSD didapat nilai sebesar 22,29%. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar B20 Rh memiliki nilai efisiensi thermal lebih besar 1,68% dari bahan bakar B20 dan lebih besar 1,69% dari bahan bakar Biosolar. Sedangkan nilai efisiensi thermal yang paling rendah di rpm 2000 dimiliki oleh bahan bakar HSD.

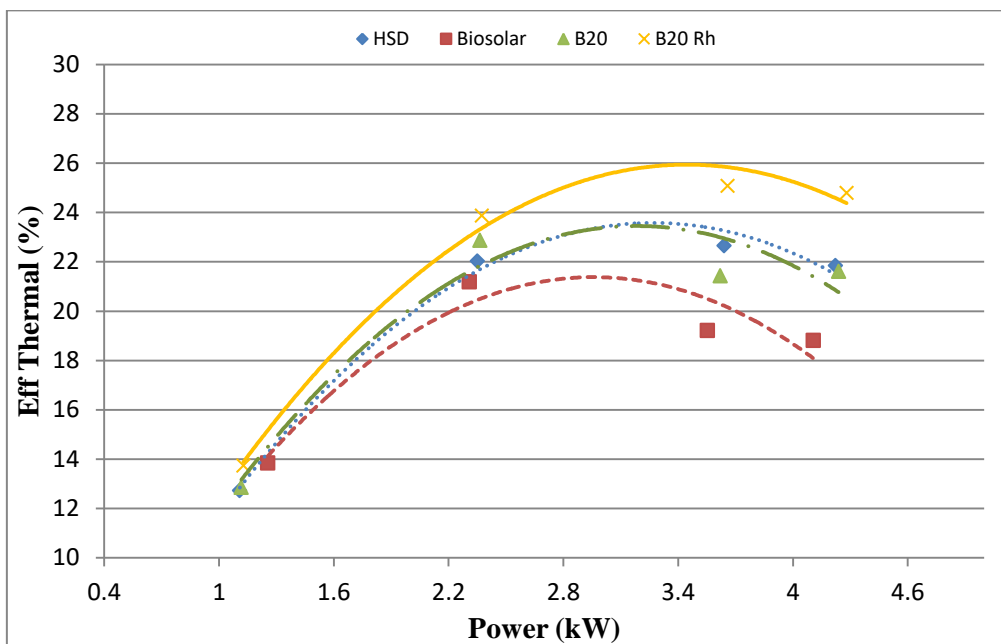
#### 4.4.16 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2100



Grafik 4. 16 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2100

Berdasarkan dari Grafik 4.16 diatas, dapat dilihat perbandingan antara efisiensi thermal dengan daya terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD terhadap rpm 2100. Dapat dilihat pada rpm 2100, bahan bakar B20 Rh adalah bahan bakar yang memiliki nilai efisiensi thermal tertinggi dengan nilai sebesar 25,26%. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar B20 didapat nilai sebesar 24,24% , dengan menggunakan bahan bakar Biosolar didapat nilai sebesar 22,58% dan dengan menggunakan bahan bakar HSD didapat nilai sebesar 22,48%. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar B20 Rh memiliki nilai efisiensi thermal lebih besar 1,01% dari bahan bakar B20 dan lebih besar 2,67% dari bahan bakar Biosolar. Sedangkan nilai efisiensi thermal yang paling rendah di rpm 2000 dimiliki oleh bahan bakar HSD.

#### 4.4.17 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2200

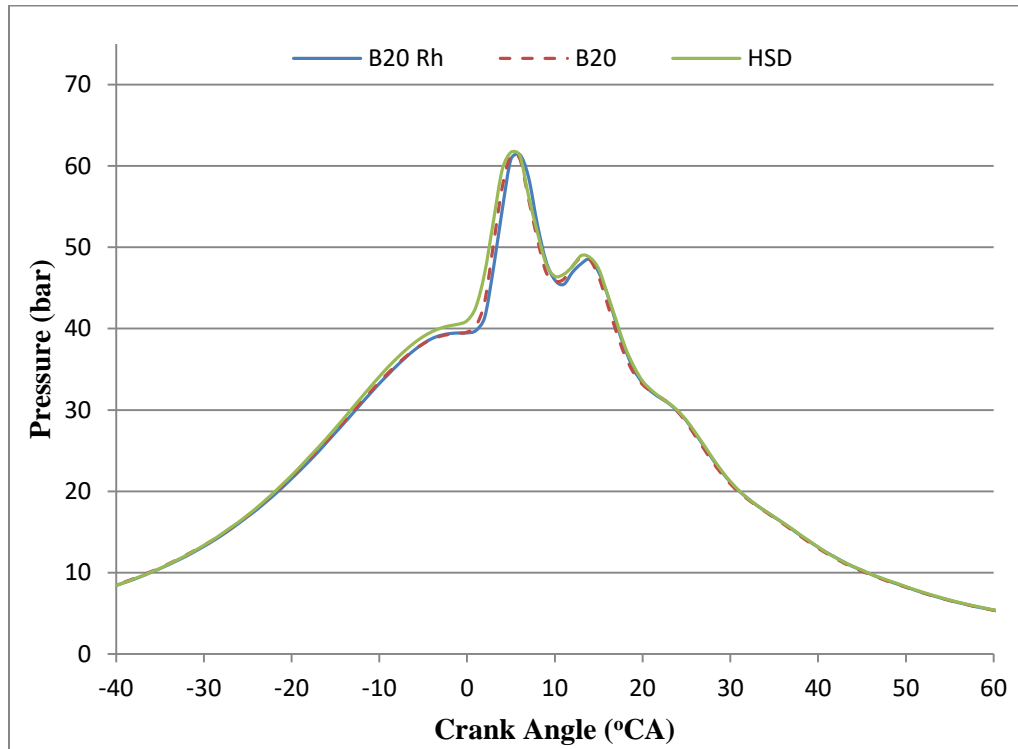


Grafik 4. 17 Perbandingan Antara Eff. Thermal Dengan Daya Terhadap Jenis Bahan Bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan HSD Pada RPM 2200

Berdasarkan dari Grafik 4.17 diatas, dapat dilihat perbandingan antara efisiensi thermal dengan daya terhadap jenis bahan bakar B20, B20 Rh, Biosolar dan Solar HSD terhadap rpm 2200. Dapat dilihat pada rpm 2200, bahan bakar B20 Rh adalah bahan bakar yang memiliki nilai efisiensi thermal tertinggi dengan nilai sebesar 25,08%. Sedangkan dengan menggunakan bahan bakar B20 didapat nilai sebesar 22,87% , dengan menggunakan bahan bakar Biosolar didapat nilai sebesar 21,18% dan dengan menggunakan bahan bakar HSD didapat nilai sebesar 22,65%. Dari percobaan 4 variabel bahan bakar tersebut, dapat disimpulkan bahwa bahan bakar B20 Rh memiliki nilai efisiensi thermal lebih besar 2,20% dari bahan bakar B20 dan lebih besar 2,42% dari bahan bakar Solar HSD. Sedangkan nilai efisiensi thermal yang paling rendah di rpm 2200 dimiliki oleh bahan bakar Biosolar.

#### 4.5 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran (*Maximum Pressure*)

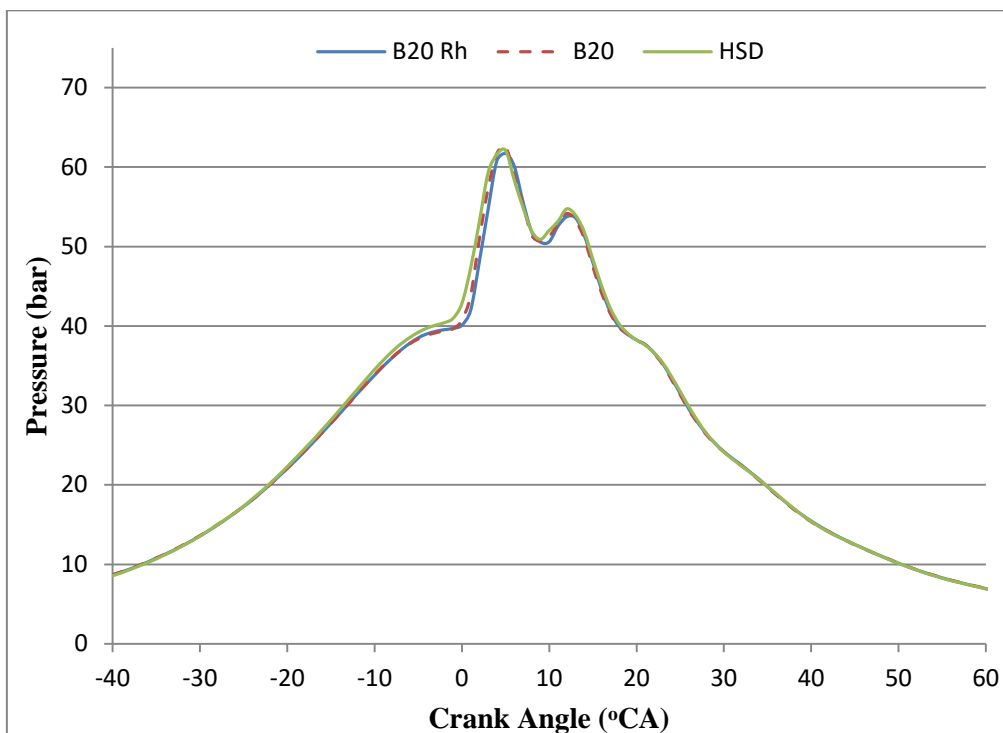
##### 4.5.1 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; *Load 25%*



Grafik 4. 18 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); *Load 25%*

Berdasarkan dari Grafik 4.18 diatas, dapat dilihat perbandingan antara tekanan maksimal dari bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load 25%*. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 1,127kW, B20 sebesar 1,116 kW dan HSD sebesar 1,108 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan nilai tekanan di rpm 2200 pada *load 25%* terhadap bahan bakar B20 Rh dengan nilai 60,90 bar pada posisi CA 6° setelah TMA, pada bahan bakar B20 dengan nilai 60,90 bar pada posisi CA 6° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD 61,31 bar pada posisi CA 6° setelah TMA.

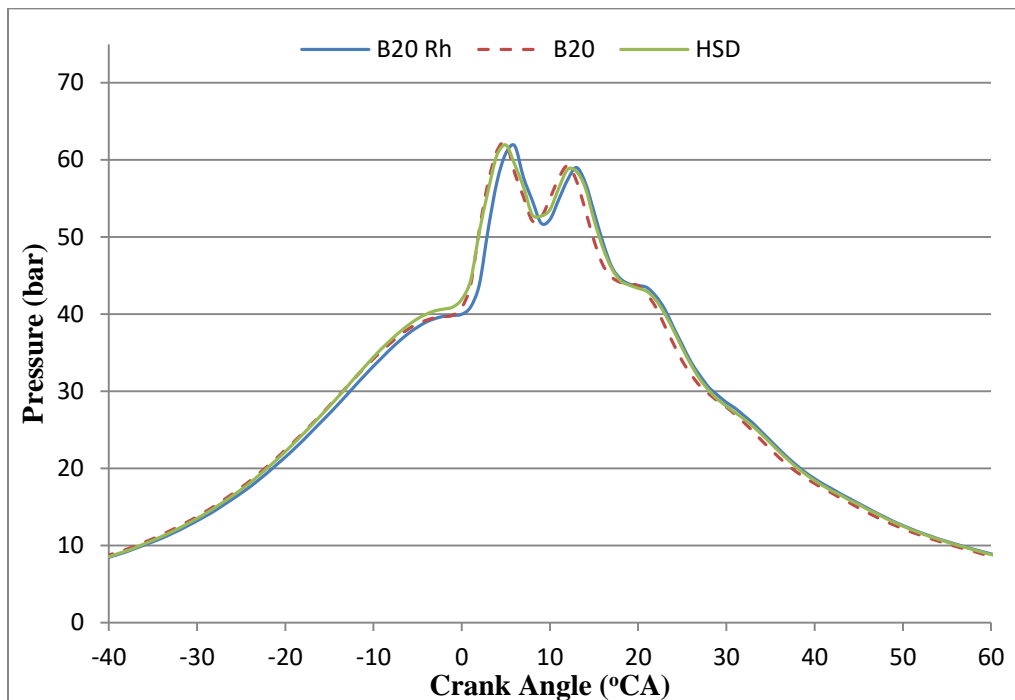
#### 4.5.2 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 50%



Grafik 4. 19 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 50%

Berdasarkan dari Grafik 4.19 diatas, dapat dilihat perbandingan antara tekanan maksimal dari bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 50%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 2,374 kW, B20 sebesar 2,364 kW dan HSD sebesar 2,351 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan nilai tekanan di rpm 2200 pada *load* 50% terhadap bahan bakar B20 Rh dengan nilai 61,72 bar pada posisi CA 5° setelah TMA, pada bahan bakar B20 dengan nilai 62,54 bar pada posisi CA 5° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD 62,09 bar pada posisi CA 5° setelah TMA.

#### 4.5.3 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 75%

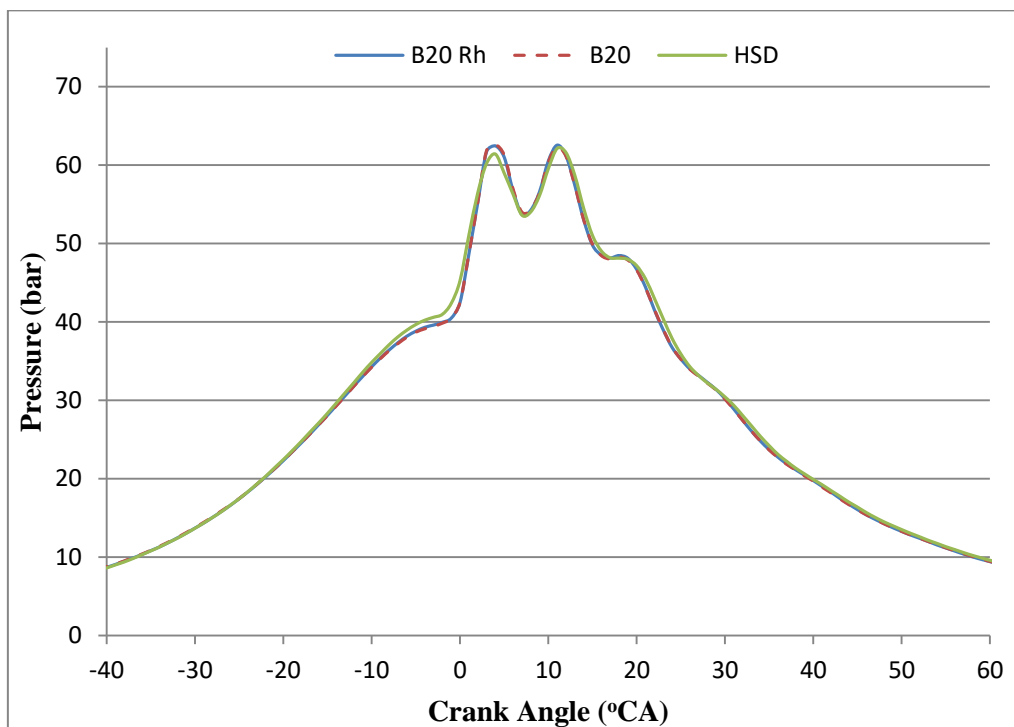


Grafik 4. 20 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 75%

Berdasarkan dari Grafik 4.20 diatas, dapat dilihat perbandingan antara tekanan maksimal dari bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 75%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh 3,658 kW, B20 sebesar 3,620 kW dan HSD sebesar 3,641 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan nilai tekanan di rpm 2200 pada *load* 75% terhadap bahan bakar B20 Rh dengan nilai 61,84 bar pada posisi CA 6° setelah TMA, pada bahan bakar B20 dengan nilai 62,26 bar pada posisi CA 5° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD 61,94 bar pada posisi CA 5° setelah TMA.



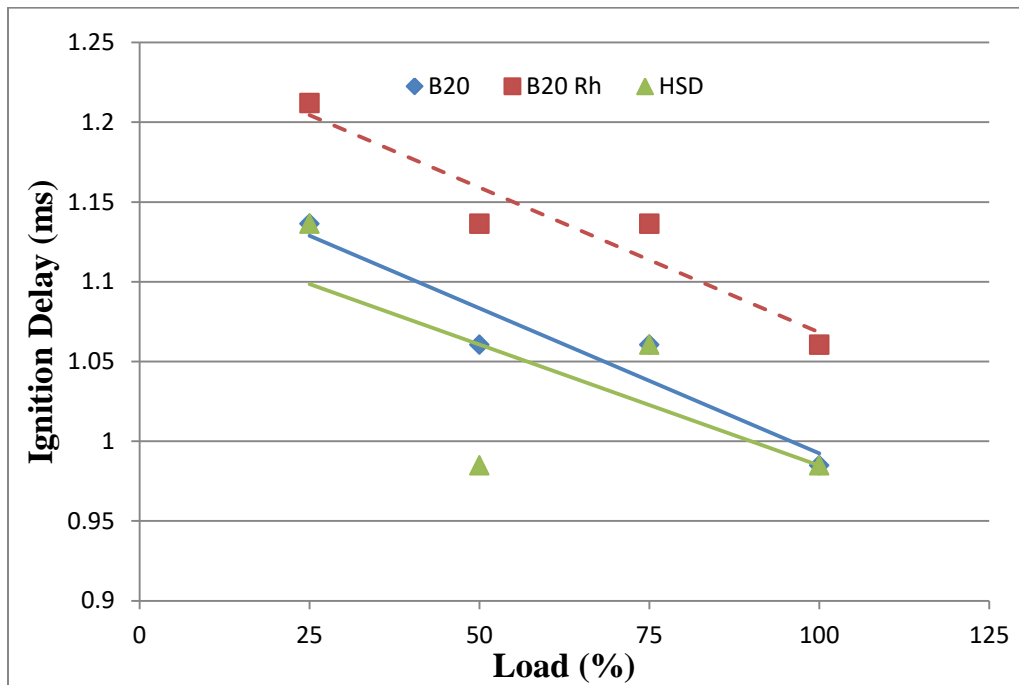
#### 4.5.4 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 100%



Grafik 4. 21 Analisa Perbandingan Tekanan Hasil Proses Pembakaran B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 100%

Berdasarkan dari Grafik 4.21 diatas, dapat dilihat perbandingan antara tekanan maksimal dari bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 100%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 4,280 kW, B20 sebesar 4,239 kW dan HSD sebesar 4,222 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan nilai tekanan di rpm 2200 pada *load* 100% terhadap bahan bakar B20 Rh dengan nilai 62,61 bar pada posisi CA 4° setelah TMA, pada bahan bakar B20 dengan nilai 62,61 bar pada posisi CA 4° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD 62,13 bar pada posisi CA 11° setelah TMA.

#### 4.6 Analisa Perbandingan Hasil *Ignition Delay*



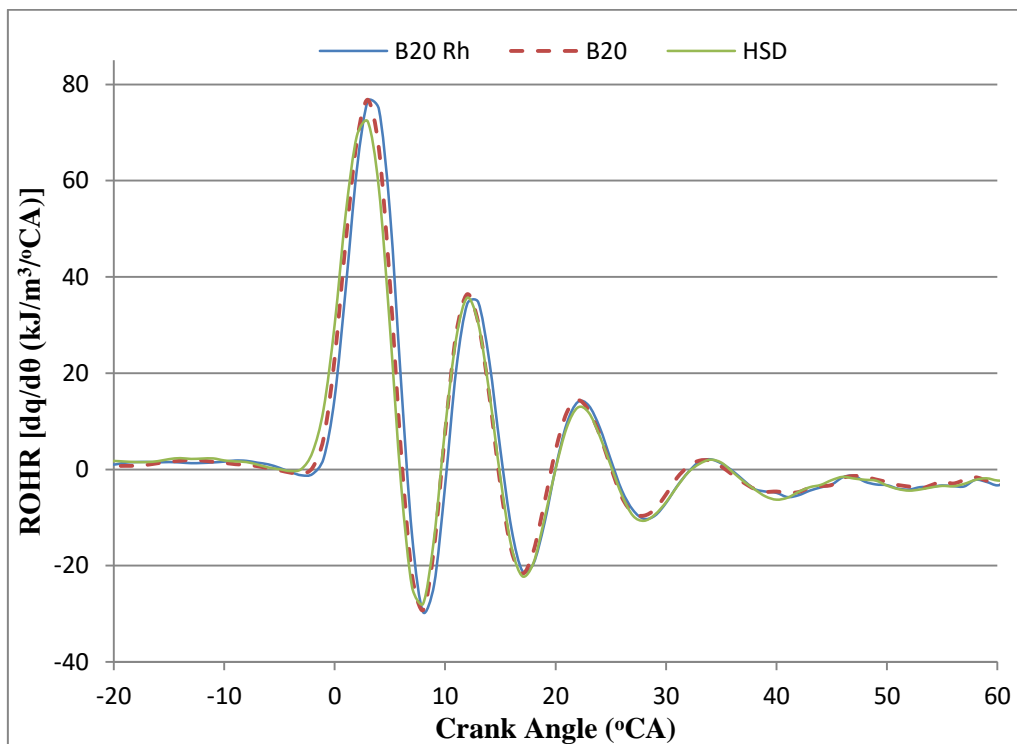
Grafik 4. 22 Analisa Perbandingan *Ignition Delay* B20, B20 Rh dan Solar HSD

Berdasarkan dari Grafik 4.22 diatas, dapat dilihat perbandingan antara ignition delay dari bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Dalam analisis *ignition delay* ini bertujuan untuk mengetahui jeda waktu terjadinya pembakaran pada ruang bakar terhadap sebuah bahan bakar yang diinjeksikan. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada analisa perbandingan hasil *ignition delay* ini, dilakukan 4 variasi pembebanan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap putaran mesin 2200 rpm. Dari percobaan yang dilakukan, hasil nilai dari *ignition delay* pada rpm 2200 load 25% terhadap bahan bakar B20 adalah 1,13ms, bahan bakar B20 Rh 1,21ms dan bahan bakar HSD 1,13ms. Pada rpm 2200 load 50% terhadap bahan bakar B20 adalah 1,06ms, bahan bakar B20 Rh 1,13ms dan bahan bakar HSD 0,98ms. Pada rpm 2200 load 75% terhadap bahan bakar B20 adalah 1,06ms, bahan bakar B20 Rh 1,13ms dan bahan bakar HSD 1,06ms. Pada rpm 2200 load 100% terhadap bahan bakar B20 adalah 0,98ms, bahan bakar B20 Rh 1,06ms dan bahan bakar HSD 0,98ms.

Terjadinya perbedaan *ignition delay* pada setiap bahan bakar dapat dipengaruhi oleh besar atau kecilnya nilai cetane number dari suatu bahan bakar. Diketahui secara teorinya bahwa semakin pendek waktu *ignition delay* yang didapatkan semakin besar juga nilai cetane number pada suatu bahan bakar.

#### 4.7 Analisa Perbandingan Hasil *Rate Of Heat Release*

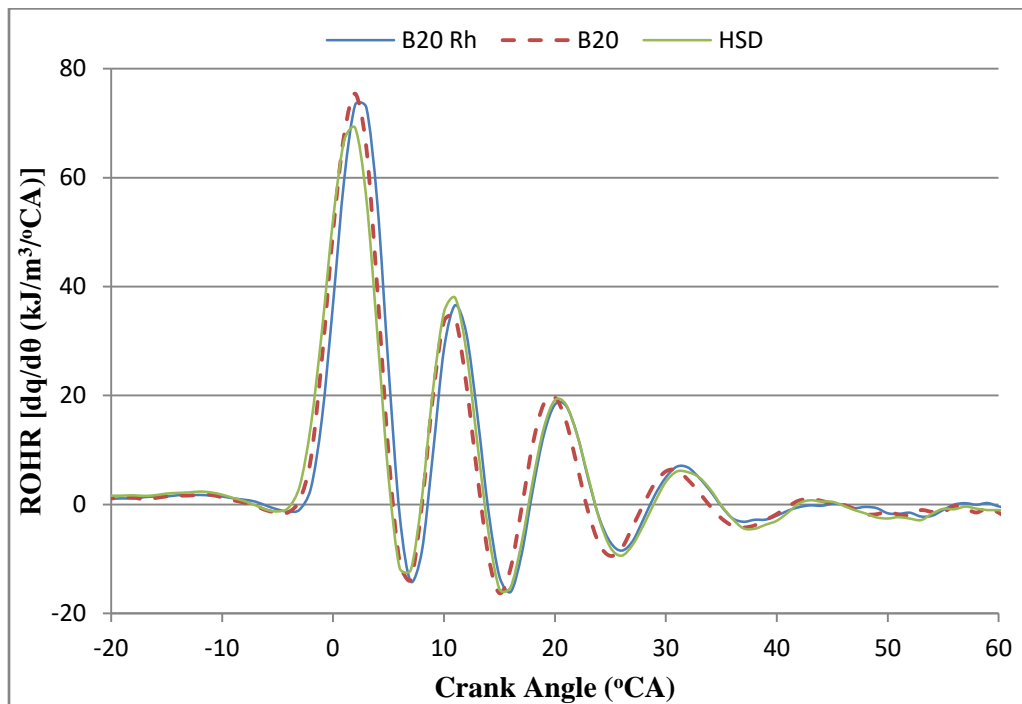
##### 4.7.1 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 25%



Grafik 4. 23 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 25%

Berdasarkan dari Grafik 4.23 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *rate of heat release* (ROHR) dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 25%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 1,127kW, B20 sebesar 1,116 kW dan HSD sebesar 1,108 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan posisi derajat dari titik mulanya RORH di rpm 2200 pada *load* 25% terhadap bahan bakar B20 Rh, didapatkan pada posisi CA 2,5° sebelum TMA, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 3° sebelum TMA dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 3,5°. Selain titik mulanya RORH, didapatkan juga posisi derajat pada *peak* RORH pada setiap bahan bakar. Peak RORH pada bahan bakar B20 Rh didapatkan pada posisi CA 4° dengan nilai energy RORH sebesar 74,88 kJ/m³/deg, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 3° dengan nilai energy RORH sebesar 76,81 kJ/m³/deg dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 3° dengan nilai energy RORH sebesar 72,26 kJ/m³/deg.

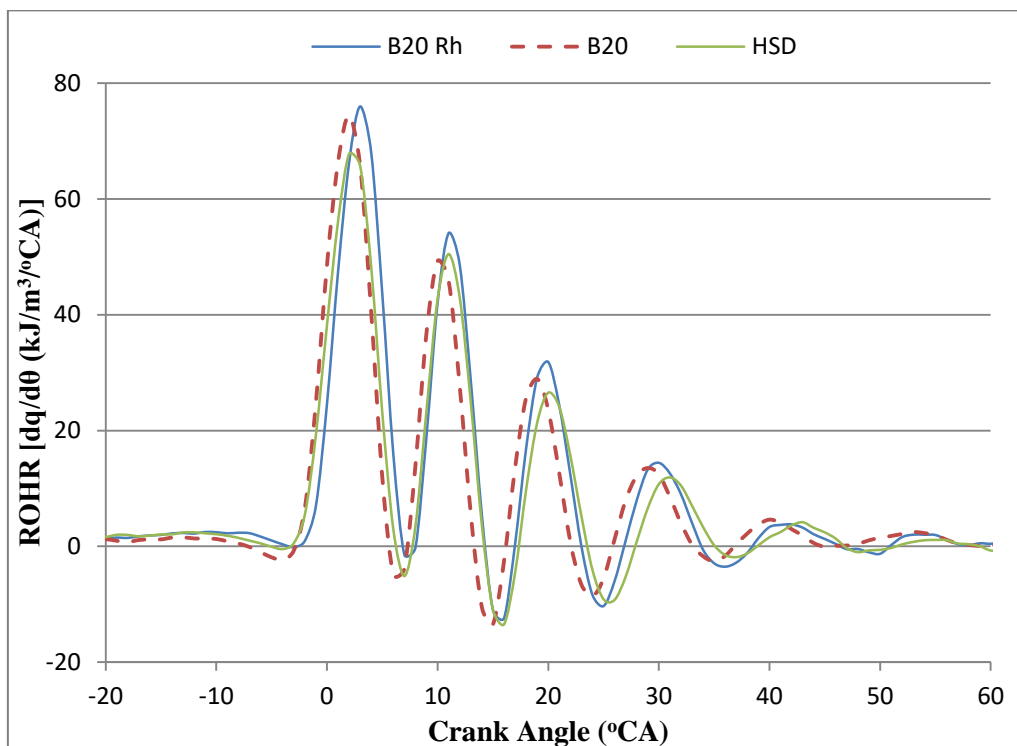
#### 4.7.2 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 50%



Grafik 4. 24 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 50%

Berdasarkan dari Grafik 4.24 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *rate of heat release* (ROHR) dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 50%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 2,374 kW, B20 sebesar 2,364 kW dan HSD sebesar 2,351 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan posisi derajat dari titik mulanya RORH di rpm 2200 pada *load* 50% terhadap bahan bakar B20 Rh, didapatkan pada posisi CA 3,5° sebelum TMA, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 4,5° sebelum TMA dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 5°. Selain titik mulanya RORH, didapatkan juga posisi derajat pada *peak* RORH pada setiap bahan bakar. Peak RORH pada bahan bakar B20 Rh didapatkan pada posisi CA 3° dengan nilai energy RORH sebesar 72,89 kJ/m<sup>3</sup>/deg, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 2° dengan nilai energy RORH sebesar 75,42 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 2° dengan nilai energy RORH sebesar 69,12 kJ/m<sup>3</sup>/deg.

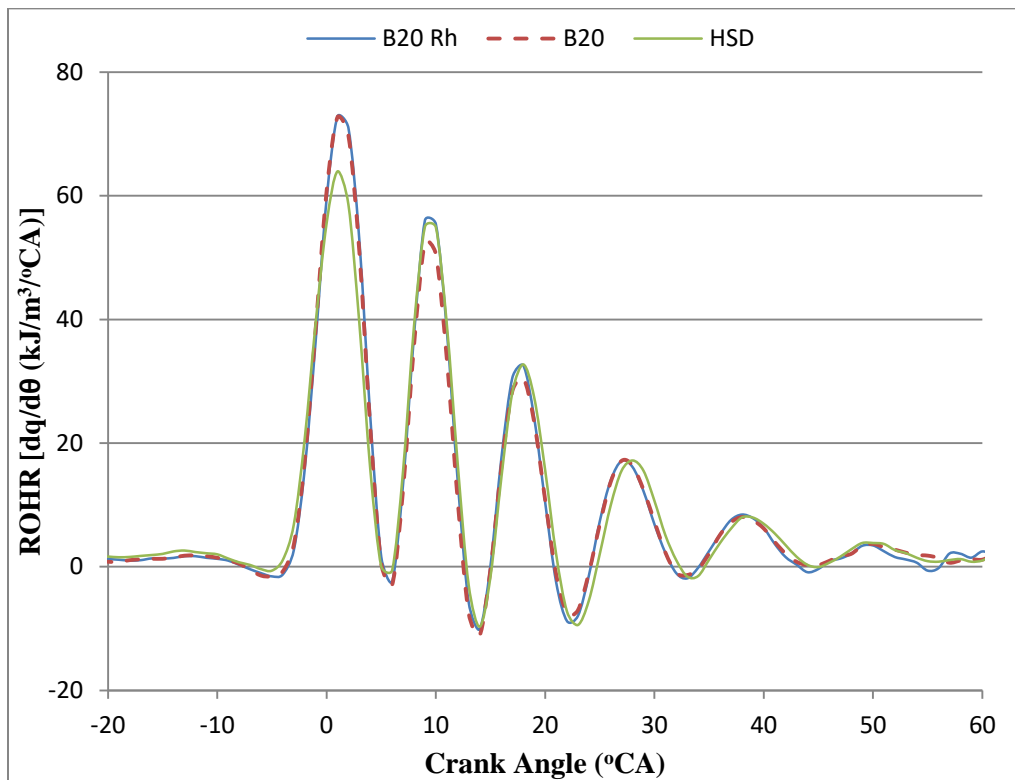
#### 4.7.3 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 75%



Grafik 4. 25 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 75%

Berdasarkan dari Grafik 4.25 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *rate of heat release* (ROHR) dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 75%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh 3,658 kW, B20 sebesar 3,620 kW dan HSD sebesar 3,641 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan posisi derajat dari titik mulanya RORH di rpm 2200 pada *load* 75% terhadap bahan bakar B20 Rh, didapatkan pada posisi CA 3° sebelum TMA, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 4° sebelum TMA dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 4° sebelum TMA. Selain titik mulanya RORH, didapatkan juga posisi derajat pada *peak* RORH pada setiap bahan bakar. Peak RORH pada bahan bakar B20 Rh didapatkan pada posisi CA 3° dengan nilai energy RORH sebesar 75,99 kJ/m<sup>3</sup>/deg, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 2° dengan nilai energy RORH sebesar 74,45 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 2° dengan nilai energy RORH sebesar 67,78 kJ/m<sup>3</sup>/deg.

#### 4.7.4 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 100%

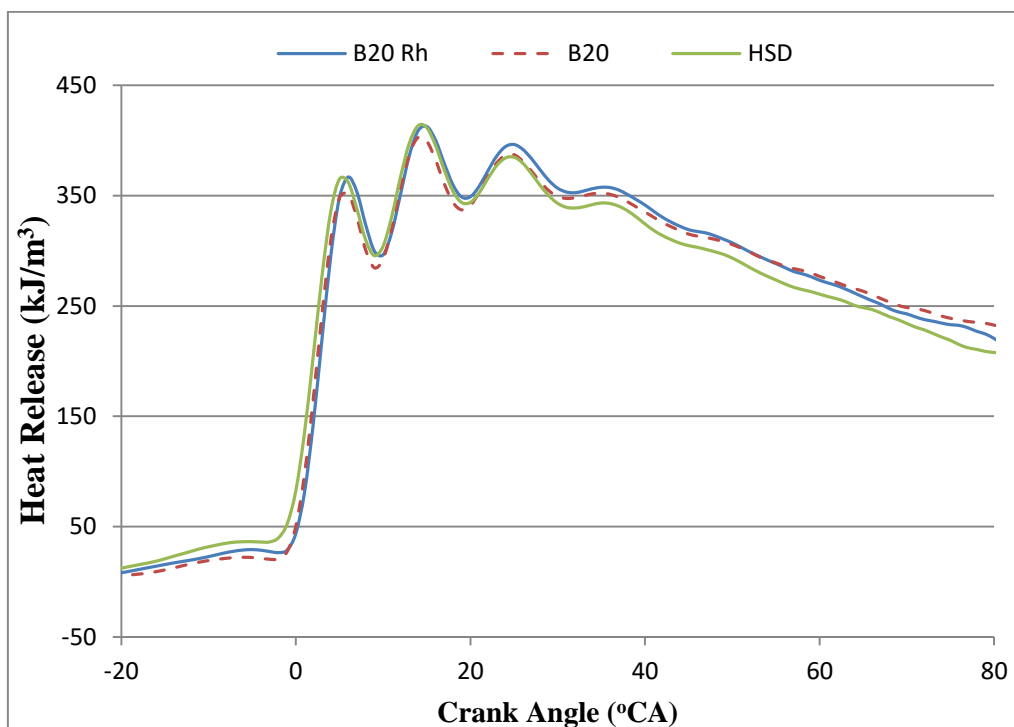


Grafik 4. 26 Analisa Perbandingan *Rate Of Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 100%

Berdasarkan dari Grafik 4.26 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *rate of heat release* (ROHR) dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 100%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 4,280 kW, B20 sebesar 4,239 kW dan HSD sebesar 4,222 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan posisi derajat dari titik mulanya RORH di rpm 2200 pada *load* 100% terhadap bahan bakar B20 Rh, didapatkan pada posisi CA 4° sebelum TMA, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 5° sebelum TMA dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 5°. Selain titik mulanya RORH, didapatkan juga posisi derajat pada *peak* RORH pada setiap bahan bakar. Peak RORH pada bahan bakar B20 Rh didapatkan pada posisi CA 1° dengan nilai energy RORH sebesar 72,72 kJ/m<sup>3</sup>/deg, pada bahan bakar B20 didapatkan pada posisi CA 1° dengan nilai energy RORH sebesar 72,72 kJ/m<sup>3</sup>/deg dan pada bahan bakar HSD didapatkan pada posisi CA 1° dengan nilai energy RORH sebesar 63,95 kJ/m<sup>3</sup>/deg.

#### 4.8 Analisa Perbandingan Hasil *Heat Release*

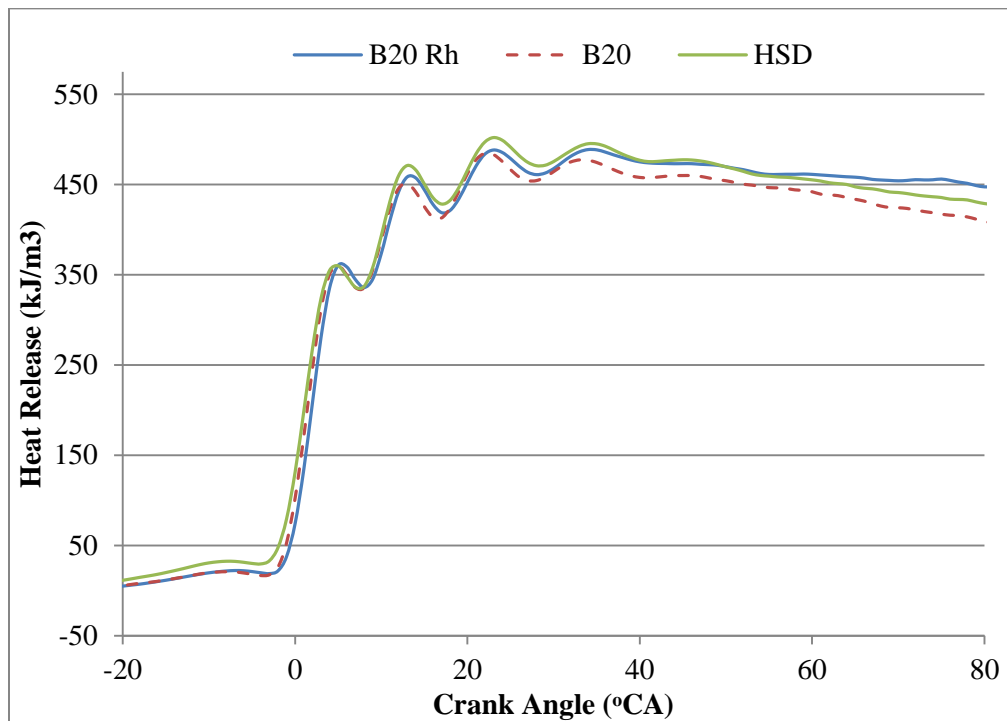
##### 4.8.1 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 25%



Grafik 4. 27 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 25%

Berdasarkan dari Grafik 4.27 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *heat release* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 25%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 1,127kW, B20 sebesar 1,116 kW dan HSD sebesar 1,108 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan energi yang dihasilkan pada titik puncak *heat release* pada bahan bakar B20 Rh sebesar 408 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 14° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 402 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 14° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 413 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 14° setelah TMA.

#### 4.8.2 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 50%

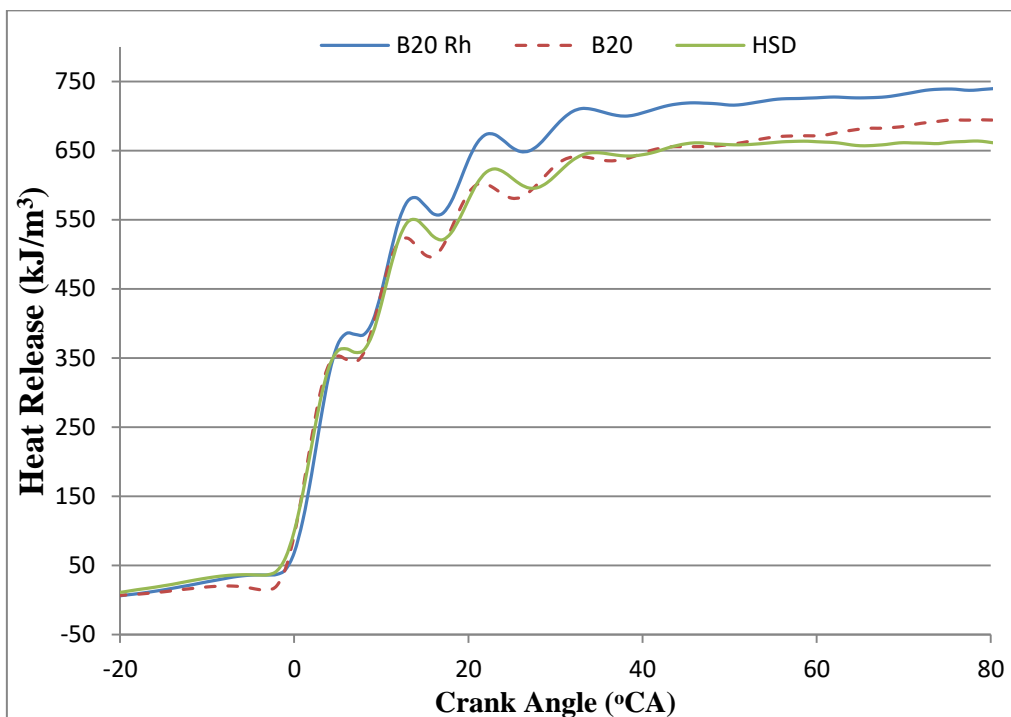


Grafik 4. 28 Analisa Perbandingan Heat Release B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 50%

Berdasarkan dari Grafik 4.28 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *heat release* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 50%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 2,374 kW, B20 sebesar 2,364 kW dan HSD sebesar 2,351 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan energi yang dihasilkan pada titik puncak *heat release* pada bahan bakar B20 Rh sebesar 488 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 23° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 484 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 22° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 497 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 22° setelah TMA.



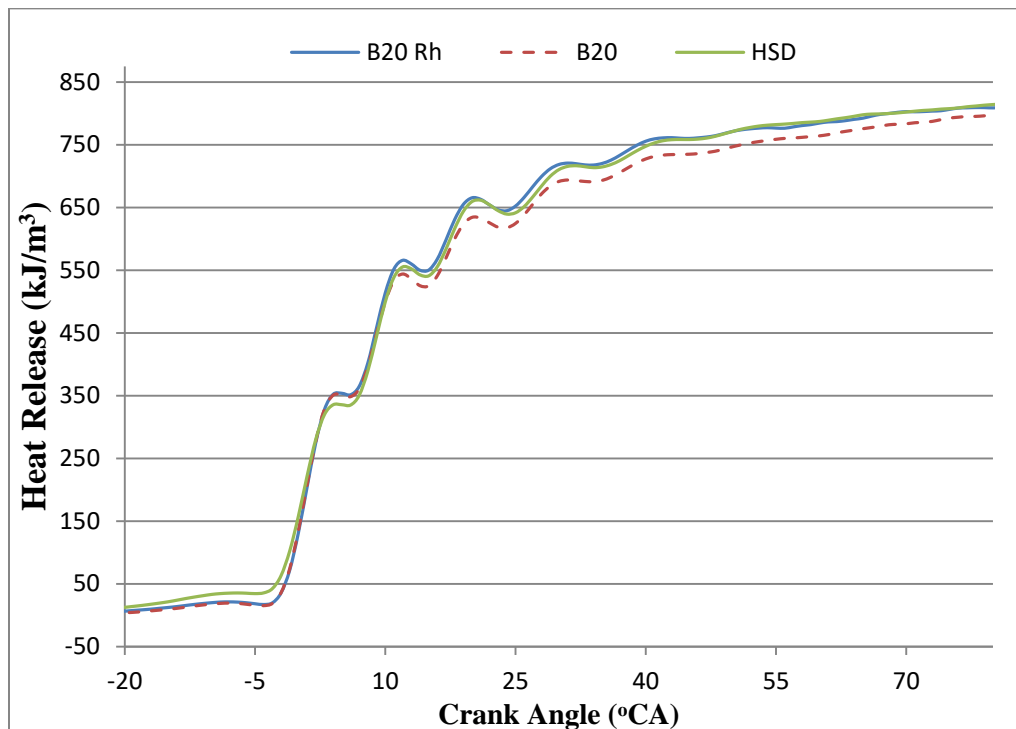
#### 4.8.3 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 75%



Grafik 4. 29 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 75%

Berdasarkan dari Grafik 4.29 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *heat release* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 75%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh 3,658 kW, B20 sebesar 3,620 kW dan HSD sebesar 3,641 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan energi panas yang dihasilkan pada bahan bakar B20 Rh sebesar 673 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 23° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 595 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 23° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 623 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 23° setelah TMA.

#### 4.8.4 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; *Load* 100%

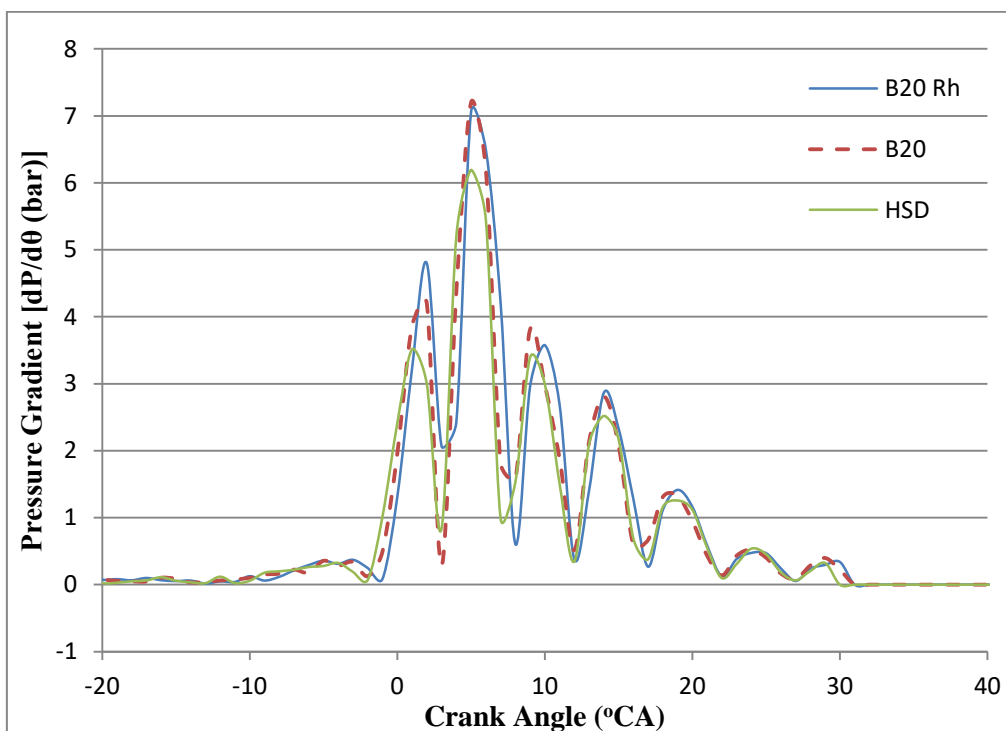


Grafik 4. 30 Analisa Perbandingan *Heat Release* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); *Load* 100%

Berdasarkan dari Grafik 4.30 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *heat release* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 100%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 4,280 kW, B20 sebesar 4,239 kW dan HSD sebesar 4,222 kW. Dari karakteristik yang dimiliki Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH, diketahui bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi CA 18° sebelum TMA. Pada grafik tersebut menjelaskan energi panas yang dihasilkan pada bahan bakar B20 Rh sebesar 665 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 20° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 633 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 21° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 661 kJ/m<sup>3</sup> pada posisi CA 21° setelah TMA.

#### 4.9 Analisa Perbandingan Hasil *Knock Detection*

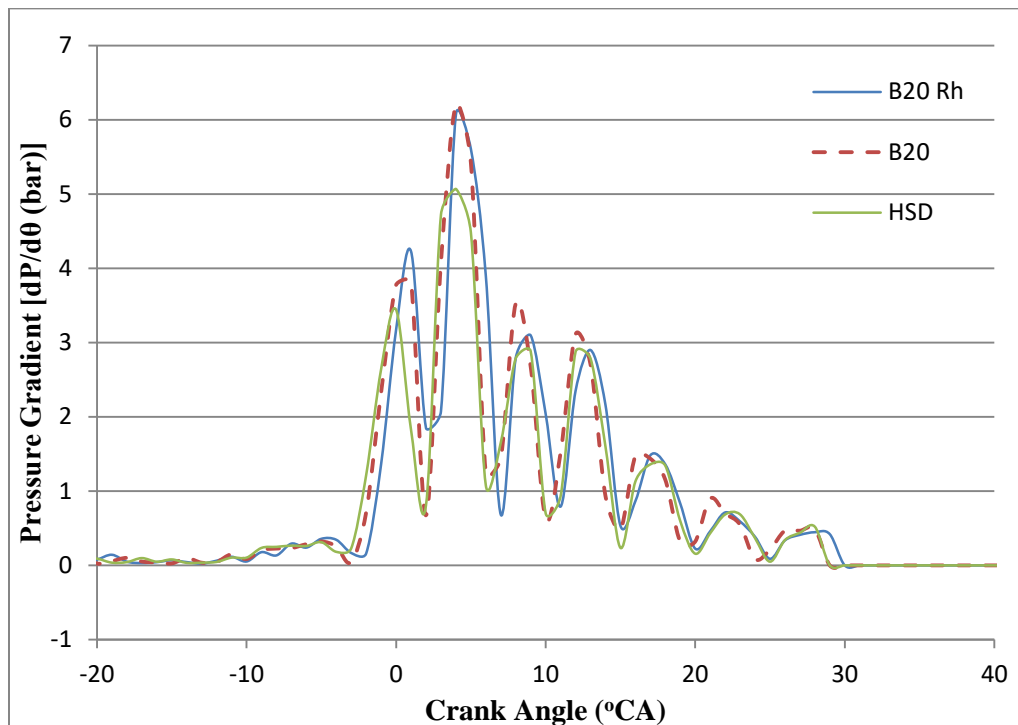
##### 4.9.1 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 25%



Grafik 4. 31 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 25%

Berdasarkan dari Grafik 4.31 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *knocking* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 25%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 1,127kW, B20 sebesar 1,116 kW dan HSD sebesar 1,108 kW. Dapat dilihat bahwa nilai dari *knocking* terbesar saat pada rpm 2200 load 25% terhadap bahan bakar B20 Rh sebesar 7,05 bar pada posisi CA 5° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 7,19 bar pada posisi CA 5° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 6,19 bar pada posisi CA 5° setelah TMA.

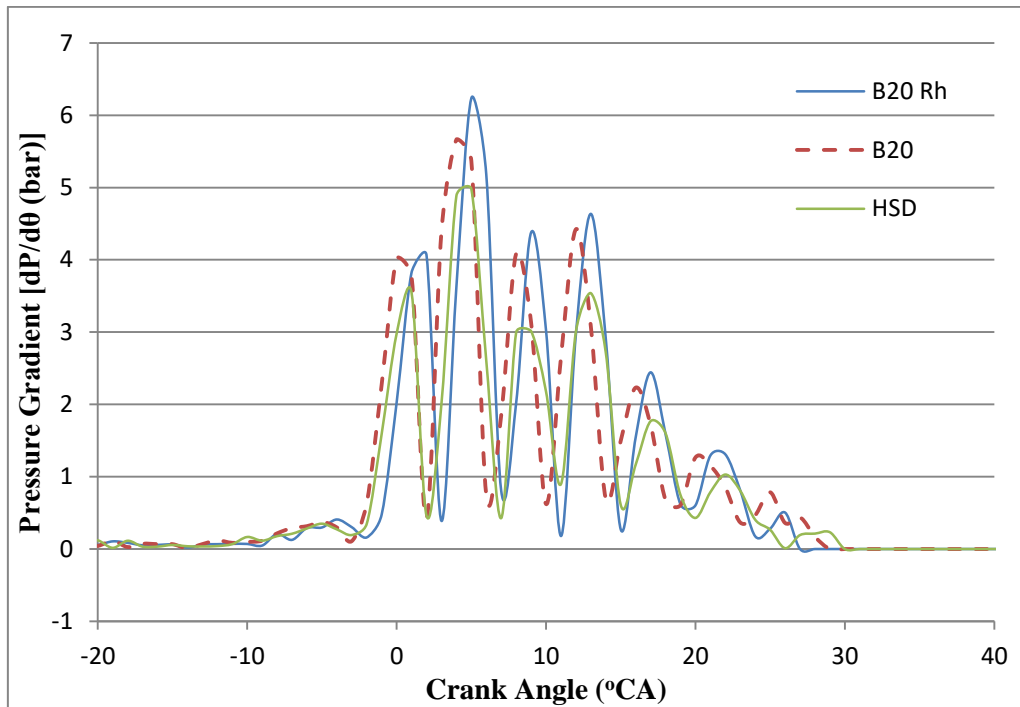
#### 4.9.2 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 50%



Grafik 4. 32 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 50%

Berdasarkan dari Grafik 4.32 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *knocking* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 50%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 2,374 kW, B20 sebesar 2,364 kW dan HSD sebesar 2,351 kW. Dapat dilihat bahwa nilai dari *knocking* terbesar saat pada rpm 2200 load 50% terhadap bahan bakar B20 Rh sebesar 6,06 bar pada posisi CA 4° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 6,20 bar pada posisi CA 4° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 5,06 bar pada posisi CA 4° setelah TMA.

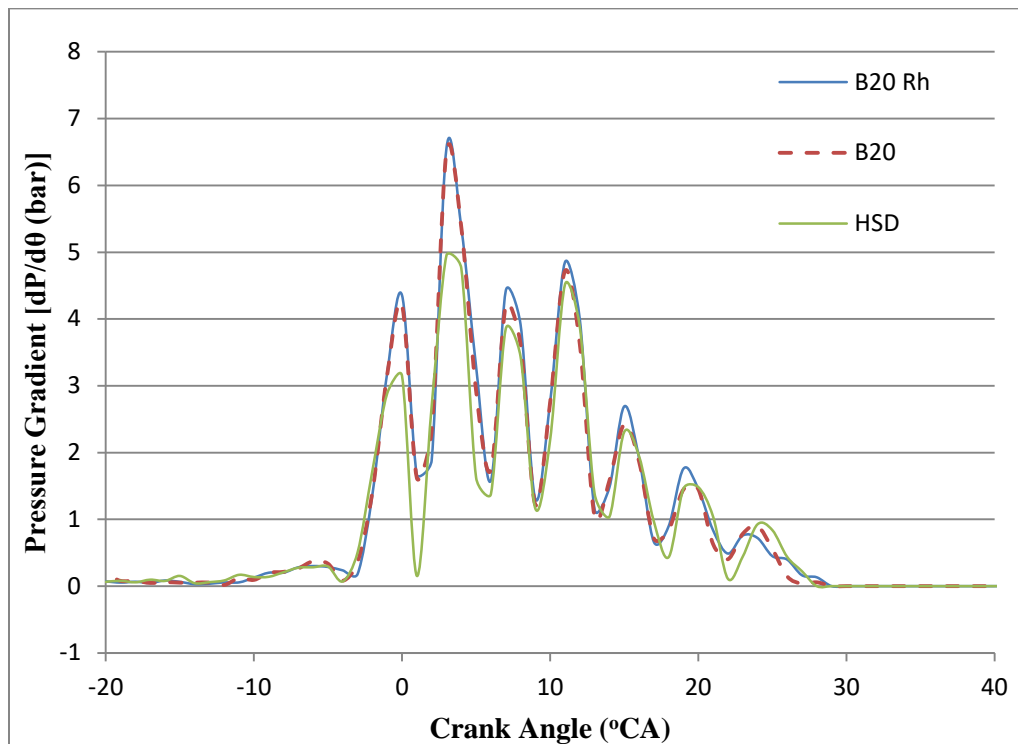
#### 4.9.3 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 75%



Grafik 4. 33 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 75%

Berdasarkan dari Grafik 4.33 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *knocking* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada *load* 75%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 3,658 kW, B20 sebesar 3,620 kW dan HSD sebesar 3,641 kW. Dapat dilihat bahwa nilai dari *knocking* terbesar saat pada rpm 2200 *load* 75% terhadap bahan bakar B20 Rh sebesar 6,23 bar pada posisi CA 5° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 5,66 bar pada posisi CA 4° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 4,97 bar pada posisi CA 5° setelah TMA.

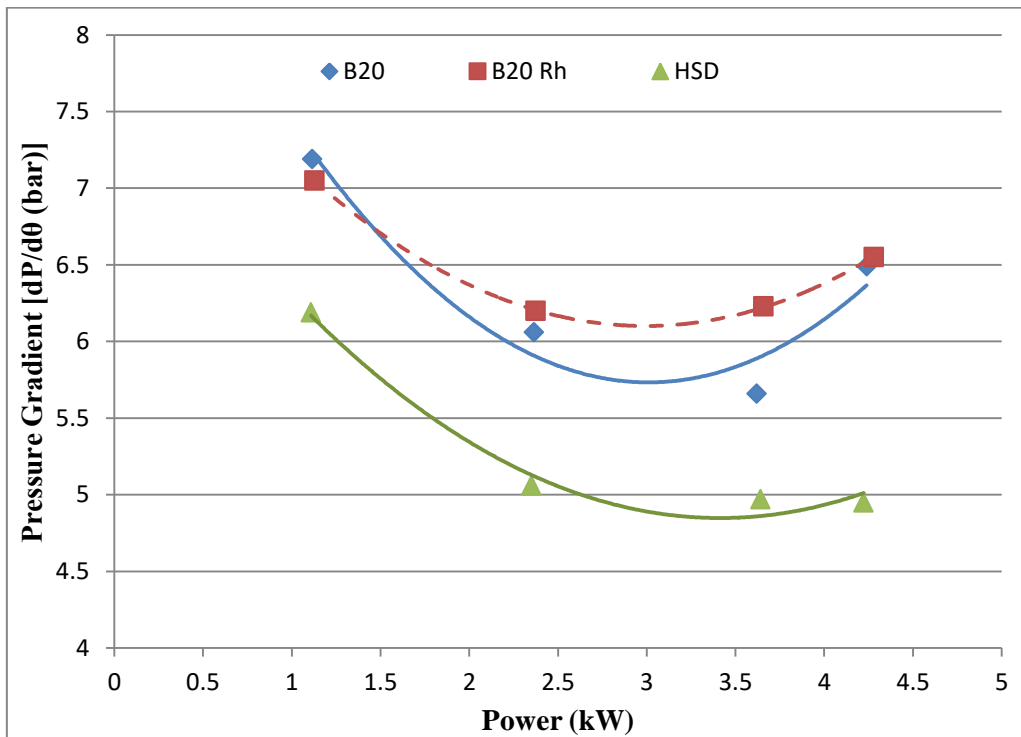
#### 4.9.4 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada RPM 100%; Load 100%



Grafik 4. 34 Analisa Perbandingan *Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD Pada Maksimum Speed (2200 RPM); Load 100%

Berdasarkan dari Grafik 4.34 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *knocking* dari bahan bakar B20 Rh, B20 dan HSD. Dari 3 variabel bahan bakar tersebut memiliki nilai daya pada load 100%. Nilai daya pada bahan bakar B20 Rh sebesar 4,280 kW, B20 sebesar 4,239 kW dan HSD sebesar 4,222 kW. Dapat dilihat bahwa nilai dari *knocking* terbesar saat pada rpm 2200 load 100% terhadap bahan bakar B20 Rh sebesar 6,55 bar pada posisi CA 3° setelah TMA, pada bahan bakar B20 sebesar 6,49 bar pada posisi CA 3° setelah TMA dan pada bahan bakar HSD sebesar 4,95 bar pada posisi CA 3° setelah TMA.

#### 4.10 Analisa Perbandingan Hasil *Peak Knock Detection*



Grafik 4. 35 Analisa Perbandingan *Peak Knock Detection* B20, B20 Rh dan HSD

Berdasarkan dari Grafik 4.35 diatas, dapat dilihat perbandingan antara *peak knock detection* pada RPM 2200 variasi beban *load* 25 – 100% terhadap bahan bakar B20, B20 Rh dan HSD. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa bahan bakar B20 memiliki nilai *peak knocking* tertinggi sebesar 7,19 bar dengan *power* 1,116 kW, bahan bakar B20 Rh memiliki nilai *peak knocking* sebesar 7,05 bar dengan *power* 1,127 dan bahan bakar HSD memiliki nilai *peak knocking* sebesar 6,19 bar dengan *power* 1,108 kW.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian bahan bakar biodiesel minyak biji karet, pengaruh penambahan katalis rhodium dalam bahan bakar B20 pada performansi dan proses pembakaran motor diesel dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil uji *properties* biodiesel minyak biji karet telah diketahui bahwa biodiesel minyak biji karet telah lulus standar sesuai dengan standar nasional biodiesel, yang di nilai dari beberapa parameter uji yakni viskositas, pour point, flash point, densitas dan nilai kalor. Dengan nilai viskositas 5,12 cSt, flash point 173, pour point 3, nilai kalor 9,478 cal/gr, densitas 0,883 gr/cm<sup>3</sup>.
2. Hasil proses uji performansi yang telah didapat dari percobaan 4 variabel bahan bakar diantaranya sebagai berikut :
  - a) Daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh putaran engine, semakin tinggi putaran engine maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh engine. Namun pada putaran 2200 rpm daya berkurang dikarenakan pada putaran 2100 rpm telah mencapai peak power dari engine tersebut. Daya maksimum dihasilkan pada putaran 2100 rpm. Daya terbesar dihasilkan pada jenis bahan bakar B20 Rh dengan nilai sebesar 3,913 kW disusul dengan HSD sebesar 3,875 kW. Kemudian disusul dengan B20 dan Biosolar.
  - b) Torsi didapatkan perhitungan dari daya, sehingga dapat disimpulkan bahwa torsi maksimum juga dicapai pada putaran 2100 rpm. Torsi terbesar didapat dengan menggunakan bahan bakar B20 Rh dengan nilai sebesar 17,7 Nm. Kemudian di posisi kedua dengan menggunakan bahan HSD disusul. Bahan bakar yang menghasilkan torsi terkecil didapat dengan menggunakan bahan bakar Biosolar.
  - c) Nilai SFOC yang didapatkan pada uji performansi dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan rpm maupun beban dapat mempengaruhi nilai SFOC dikarenakan perbedaan dari FCR dengan daya yang mempengaruhi nilai SFOC. Dilihat dari adanya penambahan rhodium pada bahan bakar B20, menyebabkan adanya penurunan SFOC. Sehingga dilihat dari SFOC terendah pada rpm 2000 – 2200 diduduki oleh bahan bakar B20 Rh dan SFOC terendah pada rpm 1800 – 2000 diduduki oleh bahan bakar B20.
  - d) Efisiensi thermal sangat dipengaruhi daya yang dikeluarkan dan nilai kalor yang dihasilkan bahan bakar (LHV). Pada penelitian ini, Jenis bahan bakar

yang menghasilkan efisiensi thermal paling besar yaitu B20 Rh. Kemudian disusul dengan B20 kemudian HSD dan Biosolar Pertamina.

- e) BMEP sangatlah dipengaruhi oleh daya yang dikeluarkan, semakin besar daya yang dihasilkan maka BMEP yang dihasilkan semakin besar. BMEP tertinggi didapatkan pada jenis bahan bakar B20 Rh kemudian disusul bahan bakar HSD, kemudian B20 dan Biosolar Pertamina.
3. Hasil proses pembakaran yang didapatkan dari 3 variabel bahan bakar yakni B20, B20 Rh dan HSD sebagai berikut :
    - a.) Untuk perbandingan dari *maximum pressure* pada putaran konstan rpm 2200 dengan pembebanan *load* 25 – 100%, dapat dilihat *trendline* dari grafik 3 variabel bahan bakar tersebut terlihat tidak jauh berbeda. Untuk posisi derajat *maximum pressure*, semakin tinggi *load* yang diberikan maka derajat akan semakin mendekati TMA, tetapi untuk bahan bakar HSD pada rpm 2200 beban 4000 terlihat *maximum pressure* terletak di posisi CA 4° setelah TMA.
    - b.) Untuk perbandingan *rate of heat release* pada putaran konstan rpm 2200 dengan pembebanan *load* 25 – 100%, dapat dilihat bahwa bahan bakar B20 dan B20 Rh lebih dominan besar dibandingkan dengan bahan bakar HSD.
    - c.) Untuk perbandingan *heat release* pada putaran konstan rpm 2200 dengan pembebanan *load* 25 – 100%, dapat dilihat bahwa bahan bakar B20 Rh lebih dominan besar dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Untuk nilai *heat release* paling rendah antara 3 variabel bahan bakar tersebut adalah bahan bakar B20.
    - d.) Untuk perbandingan *Ignition Delay* pada putaran konstan rpm 2200 dengan pembebanan *load* 25 – 100%, dapat dilihat *trendline* dari grafik 3 variabel bahan bakar tersebut yang memiliki *ignition delay* paling cepat adalah bahan bakar HSD yang disusul dengan B20 dan B20 Rh.
    - e.) Untuk perbandingan *knocking* pada putaran konstan rpm 2200 dengan pembebanan *load* 25 – 100%, dapat dilihat bahwa bahan bakar yang memiliki nilai *knocking* paling kecil adalah bahan bakar HSD. Untuk bahan bakar B20 dan B20 Rh diketahui bahwa pada rpm 2200 *load* 25 – 100%, bahan bakar B20 Rh memiliki *knocking* yang lebih kecil dari pada bahan bakar B20. Tetapi untuk rpm 2200 *load* 25 – 100%, bahan bakar B20 memiliki *knocking* yang lebih kecil dibandingkan dengan B20 Rh.

## 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang gas emisi yang dihasilkan dari bahan bakar B20 dan B20 Rh, yang dimana tujuannya untuk mengetahui apakah emisi yang dihasilkan dari bahan bakar B20 dan B20 Rh lebih rendah dari Solar HSD dan Biosolar atau sebaliknya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustiyantri, CNN Indonesia. 2017. Masyarakat Diminta Hemat BBM, Indonesia Rawan Krisis Energi, <<https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20170831094512-85-238566/masyarakat-diminta-hemat-bbm-indonesia-rawan-krisis-energi>>.
- Ambarita, MTD. 2002. Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas untuk Produksi Metil Ester. Tesis. Bogor : Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Canakci, M. dan Gerpen, J Van. 2001. Biodiesel from Oils and Fats with High Free Fatty Acids. *Trans Am Soc Automotive Engine* 44:1429-1436.
- Darmoko, D. dan Cheryan, M. 2000. Kinetics of Palm Oil Transesterification in Batch Reactor. *J Am Chem Soc* 77:1263-1267.
- Darnoko, Herawan, T., dan Guritno, P. 2001. Teknologi Produksi Biodiesel dan Prospek Pengembangannya di Indonesia. *Warta PPKS* 9:17-27.
- Deni, R., Margianto., Artono, R. 2014. Analisis Pengaruh Pemakaian Rhodium Sebagai Katalis Pencampuran Bahan Bakar Motor Diesel Terhadap Unjuk Kerja Mesin, Universitas Islam Malang, Malang.
- Dewi, R. G. dan Soerawidjaja, T. H. 2004. Integrasi Pertimbangan Lingkungan pada Perancangan Sistem Proses Produksi Biodiesel dari Minyak-minyak Nabati. *Prosiding Seminar Nasional dan Rekayasa Kimia dan Proses*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Fathallah, Aguk Zuhdi M. 2003. Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel. *Laporan Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Industri*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Freedman, B., Pryde, EH., and Mounts, TL. 1984. Variable Affeccting The Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *J Am Oil Chem Soc* 61:1638-1643.
- Goff, MJ., Bauer, NS., Sutterlin, WR., and Suppes, GJ. 2004. Acid-Catalyzed Alcoholysis of Soybean Oil. *J Am Oil Chem Soc* 81 : 415-420.
- Haas, MJ., Michalski, PJ., Runyon, S., Nunez, A., and Scott, KM. 2003. Production of FAME from Acid Oil, a by Product of Vegetable Oil Refining. *J Am Oil Chem Soc* 80:97-102.

- Heywood, J. 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Inc.
- Knothe, G, 2006. Analyzing Biodiesel : Standars and Other Methods. Journal American Oil Chemical Society 83 (10) : 823-833.
- Lauw, T.G., Samsudin dan T. Tarwotjo. 1967. Nutritional Value of Rubber Seed Protein. American Journal of Clinical Nutrition, 20 (12) : 1300 – 1303.
- Lee, KT., Foglia, TA, and Chang, KS. 2002. Production of Alkyl Ester as Biodiesel from Fractionated Lard and Restaurant Grease. J Am Oil Chem Soc 79:191-195.
- Muhammad, Yusuf MF, 2010. SINTESIS DAN KARAKTERISTIK BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KARET (*Havea brasiliensis*) MELALUI PROSES ESTRANS (ESTERIFIKASI-TRANSESTERIFIKASI), Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Mukhlisin. 2010. STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS RHODIUM (Rh) PADA PROSES PEMBAKARAN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR DIESEL, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Cahyasmita, Noah. 2011. Unjuk Kerja Diesel Engine Type Direct Injection Dengan Metode Simulasi Dan Eksperimen
- Ongge, D. 2001. Studi Penggunaan Ekstrak Biji Karet (*Havea brasiliensis* Muell Agr.) Sebagai Bahan Pemingsan dalam Transportasi Ikan Nila Gift (*Oreochromis* sp) Hidup Sistem Kering. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ozgul, S. dan Turkey, S. 2002. Variable Affecting The Yields of Methyl Ester Derived from In situ Esterification of Rice Bran Oil. J Am Oil Chem Soc 79 : 611-614.
- Prabowo, Dibyo, Dkk. 2014. Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan(*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping.IAARD Press. Jakarta
- Pusat Penelitian dan Perkembangan Perkebunan, 2013. Prospek Pemanfaatan Biji Karet Sebagai Panganekaragaman Sumber Bahan Bakar Nabati, <<http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/?p=7132>>.
- Puslitbangbun, 2012. Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri, Vol 28 No 2.
- Puspitasari, A., dan Setiawan, H. 2010. PEMBUATAN BIODIESEL DARI LARD OIL. WIDYA TEKNIK Vol. 9, No. 2, hal. 111-120. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

- Ramadhass, AS., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Characterization and Effect of Using Rubber Seed Oil as Fuel in the Compression Ignition Engines, *International Journal of Renewable Energy*, Vol.30, Issue 5, Calicut 673 601, India, pages 795–803, April 2005.
- Susila, I.W. 2010. Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Swern, D, editor. 1982. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Ed ke-4. Volume ke-2. New York : John Wiley & Sons.
- Varuvel, E.G., Nagarajan, G., Nagalingam, B., Studies on Dual Fuel Operation of Rubber Seed Oil and its Biodiesel with Hydrogen as the Inducted Fuel, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, issues 21, pages 6357–6367, 2008.
- Varuvel, E.G., Nagarajan, G., Nagalingam, B., A Comparative Combustion Analysis of Rubber Seed Oil and its Methyl Ester in a D.I Diesel Engine, *SAE World Congress.& Exhibition, Technical Papers*, Detroit, No: 2008-01-1386, 2008.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## LAMPIRAN

### Rumus Perhitungan Performansi

#### Lampiran 1 :

1. Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P : daya (kW)

V : tegangan listrik (Volt)

I : arus listrik (Ampere)

Cos  $\phi$  : 0.9

Eff Gen : efisiensi generator (0.85)

Eff Slip : effisisiensi slip (hitung)

2. Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{V \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)

$\rho$  : massa jenis bahan bakar (gr/m<sup>3</sup>)

V : volume bahan bakar (m<sup>3</sup>)

t : waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{\rho}$$

Dimana :

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)

P : daya (kW)

3. Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2\pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

4. BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (kg/m<sup>2</sup>)

P : daya (kW)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m<sup>3</sup>)

I : jumlah silinder

1 kg : 9,8 N

5. Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Ukuran efisiensi sebuah mesin yang dinamai dengan efisiensi bahan bakar yang diberikan oleh Heywood :

$$\eta_{th} : \frac{P \times 10^6}{\left(\frac{FCR}{3600}\right) \times LHV (Q_{HV})} \times 100$$

Dimana :

$\eta_{th}$  : efisiensi thermal (%)



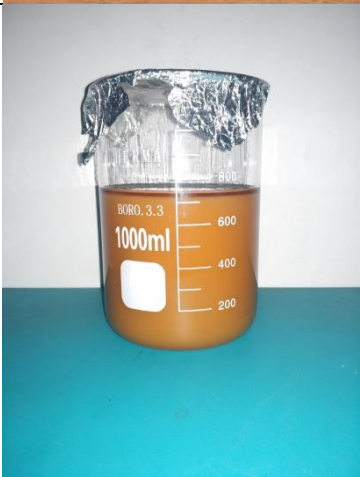
P : daya (kW)




FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)



LHV : nilai kalor bawah bahan bakar (J/Kg)



## Lampiran 2 : Table Hasil Proses Dari Pembuatan Biodiesel Biji Karet

| No | Jenis             | Gambar   |
|----|-------------------|--|
| 1  | Minyak Biji Karet |    |
| 2  | Degumming         |   |
| 3  | Esterifikasi      |  |

|   |                   |   |
|---|-------------------|---|
| 4 | Transesterifikasi |   |
| 5 | Biodiesel         |   |
| 6 | Solar HSD         |  |

|   |                |   |
|---|----------------|---|
| 7 | B20 Biji Karet |   |
| 8 | B20 Rh         |  |

Tabel diatas adalah gambar – gambar dari hasil dan proses pembuatan dari biodiesel, B20 dan B20 Rh. Berikut adalah gambar secara bersamaan dari bahan bakar yang telah dieksperimenkan. (Kiri – Kanan : Biodiesel, Solar HSD, B20 dan B20 Rh).



### Lampiran 3 : Hasil Properties Biodiesel Minyak Biji Karet (B100)



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405  
<http://www.lppm.its.ac.id>

#### **SURAT KETERANGAN**

No. 043784/IT2.VII/TU.00.08/2018

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa pengujian contoh telah dilakukan oleh Laboratorium Energi dan Lingkungan – LPPM ITS (Jl. Teknik Kimia, Gedung LPPM It.2 & Jl. Teknik Kimia Gedung Robotika It.2 Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111) dengan rincian sebagai berikut:

1. Nama Pelanggan : Benjamin Harianja
2. Alamat Pelanggan : Teknik Sistem Perkapalan ITS
3. Kegiatan Pengujian :
  - a. Contoh diterima tanggal : 15 Mei 2018
  - b. Contoh diuji tanggal : 17 Mei 2018
  - c. Contoh selesai diuji tanggal : 21 Mei 2018
  - d. Jumlah dan jenis yang diuji : 01/ Terlampir
  - e. Standar Metode yang digunakan : Terlampir
  - f. Laporan Hasil Pengujian : Terlampir

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya  
 Yang menerangkan,  
 Kepala LPPM  
  
 Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT  
 NIP. 19640405 199002 1 001-69



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
 LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405  
<http://www.lppm.its.ac.id>

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Benjamin Harianja  
 Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
 Nama Contoh : **B 100 Biji Karet** Tanggal Terima : 15 Mei 2018  
 Deskripsi : Bentuk : **Padat/Cair/Gas** Tanggal Pengujian : 17 Mei 2018  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai :  
 Kemasan : Botol Pengujian : 17 Mei 2018  
 Kode Contoh : **EN-019** Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

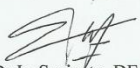
| No. | Nama Contoh      | Jenis Uji                          | Hasil | Satuan             | Metode Pengujian |
|-----|------------------|------------------------------------|-------|--------------------|------------------|
| 1.  | B 100 Biji Karet | <i>Kinematic Viscosity at 40°C</i> | 5,12  | cSt                | ASTM D 445-97    |
|     |                  | <i>Flash point</i>                 | 173   | °C                 | ASTM D 93-00     |
|     |                  | <i>Pour point</i>                  | 3     |                    | ASTM D 97-85     |
|     |                  | Densitas at 15°C                   | 0,883 | gr/cm <sup>3</sup> | Piknometer       |
|     |                  | Nilai Kalor                        | 9.478 | Cal/gr             | Bomb Kalorimeter |

Suhu : 25,1 °C  
 Humidity : 57%  
 Analisis : WNN, MBB, NRS

### Catatan :

- Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
- Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
- Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium  
 Energi dan Lingkungan

  
Dr. Ir. Susianto, DEA  
 NIP.19620820 198903 1 004

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian

Koordinator Teknis

  
Vita Yuliana, S.Si  
 NIP. 1990201822404

Ter/Rev./TP:2/1/30/04/2018

#### Lampiran 4 : Hasil Perhitungan Performa

| Putaran Engine |              | Beban  | Putaran Aluminator | Alternator |          | Volume Bahan Bakar | Waktu   | Waktu   | Waktu  | Densitas | Efisiensi | Daya  | FCR (mf) | SFOC     | Torsi  | BMEP      | LHV      | Eff. Thermal |
|----------------|--------------|--------|--------------------|------------|----------|--------------------|---------|---------|--------|----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-----------|----------|--------------|
| (rpm) kontrol  | (rpm) aktual |        |                    | Tegangan   | Arus     |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
|                |              | (watt) | (rpm)              | (volt)     | (ampere) | (m3)               | (detik) | (menit) | (jam)  | (gr/m3)  | Slip      | (kw)  | (gr/h)   | (gr/kwh) | (Nm)   | (N/m2)    | (J/Kg)   | (%)          |
| 1800           | 1799         | 0      | 1305               | 158        | 0        | 0.00001            | 86.79   | 1.447   | 0.0241 | 839000   | 0.994     | 0.000 | 348.0    | 0        | 0.000  | 0.00      | 45091200 | 0.0000       |
| 1800           | 1798         | 1000   | 1300               | 178        | 3.75     | 0.00001            | 66.9    | 1.115   | 0.0186 | 839000   | 0.991     | 0.714 | 451.5    | 632.8    | 3.791  | 150734.16 | 45091200 | 12.6175      |
| 1800           | 1802         | 2000   | 1297               | 189        | 7.81     | 0.00001            | 47.52   | 0.792   | 0.0132 | 839000   | 0.986     | 1.585 | 635.6    | 401.0    | 8.404  | 334100.12 | 45091200 | 19.9092      |
| 1800           | 1801         | 3000   | 1294               | 198        | 11.92    | 0.00001            | 34.59   | 0.577   | 0.0096 | 839000   | 0.984     | 2.539 | 873.2    | 343.9    | 13.468 | 535440.16 | 45091200 | 23.2124      |
| 1800           | 1799         | 4000   | 1290               | 193        | 13.89    | 0.00001            | 26.77   | 0.446   | 0.0074 | 839000   | 0.982     | 2.889 | 1128.3   | 390.5    | 15.345 | 610061.50 | 45091200 | 20.4455      |
|                |              |        |                    |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 1900           | 1901         | 0      | 1376               | 167        | 0        | 0.00001            | 85.14   | 1.419   | 0.0237 | 839000   | 0.992     | 0.000 | 354.8    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 45091200 | 0.0000       |
| 1900           | 1902         | 1000   | 1374               | 193        | 3.91     | 0.00001            | 60.42   | 1.007   | 0.0168 | 839000   | 0.990     | 0.807 | 499.9    | 619.2    | 4.055  | 161231.95 | 45091200 | 12.8940      |
| 1900           | 1900         | 2000   | 1365               | 201        | 8.09     | 0.00001            | 46.63   | 0.777   | 0.0130 | 839000   | 0.984     | 1.749 | 647.7    | 370.3    | 8.796  | 349716.16 | 45091200 | 21.5616      |
| 1900           | 1899         | 3000   | 1362               | 206        | 12.36    | 0.00001            | 30.11   | 0.502   | 0.0084 | 839000   | 0.983     | 2.744 | 1003.1   | 365.6    | 13.804 | 548797.80 | 45091200 | 21.8370      |
| 1900           | 1898         | 4000   | 1360               | 207        | 14.42    | 0.00001            | 26.02   | 0.434   | 0.0072 | 839000   | 0.982     | 3.220 | 1160.8   | 360.5    | 16.207 | 644318.31 | 45091200 | 22.1437      |
|                |              |        |                    |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2000           | 1999         | 0      | 1435               | 192        | 0        | 0.00001            | 83.71   | 1.395   | 0.0233 | 839000   | 0.983     | 0.000 | 360.8    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 45091200 | 0.0000       |
| 2000           | 2001         | 1000   | 1441               | 207        | 4.07     | 0.00001            | 52.86   | 0.881   | 0.0147 | 839000   | 0.987     | 0.904 | 571.4    | 632.0    | 4.317  | 171634.48 | 45091200 | 12.6335      |
| 2000           | 2003         | 2000   | 1440               | 215        | 8.41     | 0.00001            | 42.76   | 0.713   | 0.0119 | 839000   | 0.985     | 1.944 | 706.4    | 363.4    | 9.272  | 368617.32 | 45091200 | 21.9705      |
| 2000           | 2000         | 3000   | 1435               | 219        | 12.8     | 0.00001            | 27.84   | 0.464   | 0.0077 | 839000   | 0.983     | 3.020 | 1084.9   | 359.3    | 14.424 | 573463.73 | 45091200 | 22.2203      |
| 2000           | 1998         | 4000   | 1433               | 219        | 14.92    | 0.00001            | 23.96   | 0.399   | 0.0067 | 839000   | 0.983     | 3.521 | 1260.6   | 358.0    | 16.837 | 669376.59 | 45091200 | 22.2997      |
|                |              |        |                    |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2100           | 2100         | 0      | 1521               | 209        | 0        | 0.00001            | 80.68   | 1.345   | 0.0224 | 839000   | 0.992     | 0.000 | 374.4    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 45091200 | 0.0000       |
| 2100           | 2102         | 1000   | 1515               | 222        | 4.23     | 0.00001            | 48.83   | 0.814   | 0.0136 | 839000   | 0.987     | 1.007 | 618.6    | 614.3    | 4.577  | 181963.58 | 45091200 | 12.9972      |
| 2100           | 2101         | 2000   | 1513               | 229        | 8.71     | 0.00001            | 39.2    | 0.653   | 0.0109 | 839000   | 0.987     | 2.141 | 770.5    | 359.9    | 9.734  | 387006.70 | 45091200 | 22.1807      |
| 2100           | 2101         | 3000   | 1507               | 233        | 13.24    | 0.00001            | 25.23   | 0.421   | 0.0070 | 839000   | 0.983     | 3.324 | 1197.1   | 360.2    | 15.116 | 600944.59 | 45091200 | 22.1678      |
| 2100           | 2099         | 4000   | 1506               | 233        | 15.44    | 0.00001            | 21.95   | 0.366   | 0.0061 | 839000   | 0.983     | 3.875 | 1376.0   | 355.1    | 17.639 | 701264.77 | 45091200 | 22.4840      |
|                |              |        |                    |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2200           | 2198         | 0      | 1586               | 222        | 0        | 0.00001            | 49.77   | 0.830   | 0.0138 | 839000   | 0.989     | 0.000 | 606.9    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 45091200 | 0.0000       |
| 2200           | 2198         | 1000   | 1585               | 236        | 4.38     | 0.00001            | 43.46   | 0.724   | 0.0121 | 839000   | 0.988     | 1.108 | 695.0    | 627.3    | 4.816  | 191452.32 | 45091200 | 12.7269      |
| 2200           | 2200         | 2000   | 1582               | 243        | 9        | 0.00001            | 35.45   | 0.591   | 0.0098 | 839000   | 0.985     | 2.351 | 852.0    | 362.5    | 10.208 | 405831.80 | 45091200 | 22.0257      |
| 2200           | 2201         | 3000   | 1580               | 247        | 13.69    | 0.00001            | 23.54   | 0.392   | 0.0065 | 839000   | 0.983     | 3.641 | 1283.1   | 352.4    | 15.803 | 628271.11 | 45091200 | 22.6527      |
| 2200           | 2203         | 4000   | 1574               | 245        | 15.93    | 0.00001            | 19.57   | 0.326   | 0.0054 | 839000   | 0.979     | 4.222 | 1543.4   | 365.6    | 18.309 | 727915.40 | 45091200 | 21.8389      |

Tabel Performa Bahan Bakar Solar HSD

| Putaran Engine |              | Beban  | Putaran Alumina | Alternator |          | Volume Bahan Bakar | Waktu   | Waktu   | Waktu  | Densitas | Efisiensi | Daya  | FCR (mf) | SFOC     | Torsi  | BMEP      | LHV      | Eff. Thermal |
|----------------|--------------|--------|-----------------|------------|----------|--------------------|---------|---------|--------|----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-----------|----------|--------------|
| (rpm) kontrol  | (rpm) aktual |        |                 | Tegangan   | Arus     |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
|                |              | (watt) | (rpm)           | (volt)     | (ampere) | (m3)               | (detik) | (menit) | (jam)  | (gr/m3)  | Slip      | (kw)  | (gr/h)   | (gr/kwh) | (Nm)   | (N/m2)    | (J/Kg)   | (%)          |
| 1800           | 1800         | 0      | 1300            | 147        | 0        | 0.00001            | 81.11   | 1.352   | 0.0225 | 837500   | 0.989     | 0.000 | 371.7    | 0        | 0.000  | 0.00      | 44296008 | 0.0000       |
| 1800           | 1803         | 1000   | 1299            | 176        | 3.72     | 0.00001            | 68.57   | 1.143   | 0.0190 | 837500   | 0.987     | 0.702 | 439.7    | 626.0    | 3.722  | 147962.01 | 44296008 | 12.9817      |
| 1800           | 1802         | 2000   | 1295            | 188        | 7.81     | 0.00001            | 51.87   | 0.865   | 0.0144 | 837500   | 0.985     | 1.579 | 581.3    | 368.1    | 8.372  | 332845.65 | 44296008 | 22.0782      |
| 1800           | 1800         | 3000   | 1293            | 192        | 11.92    | 0.00001            | 36.11   | 0.602   | 0.0100 | 837500   | 0.984     | 2.462 | 834.9    | 339.1    | 13.070 | 519616.26 | 44296008 | 23.9680      |
| 1800           | 1801         | 4000   | 1293            | 193        | 13.88    | 0.00001            | 26.79   | 0.447   | 0.0074 | 837500   | 0.984     | 2.884 | 1125.4   | 390.3    | 15.298 | 608207.86 | 44296008 | 20.8252      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 1900           | 1900         | 0      | 1374            | 168        | 0        | 0.00001            | 71.57   | 1.193   | 0.0199 | 837500   | 0.991     | 0.000 | 421.3    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 44296008 | 0.0000       |
| 1900           | 1901         | 1000   | 1373            | 192        | 3.9      | 0.00001            | 60.05   | 1.001   | 0.0167 | 837500   | 0.989     | 0.801 | 502.1    | 626.6    | 4.027  | 160102.85 | 44296008 | 12.9701      |
| 1900           | 1898         | 2000   | 1366            | 201        | 8.09     | 0.00001            | 45.87   | 0.765   | 0.0127 | 837500   | 0.986     | 1.746 | 657.3    | 376.4    | 8.790  | 349460.15 | 44296008 | 21.5910      |
| 1900           | 1904         | 3000   | 1366            | 206        | 12.36    | 0.00001            | 31.11   | 0.519   | 0.0086 | 837500   | 0.983     | 2.743 | 969.1    | 353.3    | 13.764 | 547190.77 | 44296008 | 23.0015      |
| 1900           | 1901         | 4000   | 1364            | 206        | 14.4     | 0.00001            | 23.78   | 0.396   | 0.0066 | 837500   | 0.983     | 3.195 | 1267.9   | 396.8    | 16.059 | 638438.57 | 44296008 | 20.4816      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2000           | 2003         | 0      | 1446            | 188        | 0        | 0.00001            | 61.45   | 1.024   | 0.0171 | 837500   | 0.989     | 0.000 | 490.6    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 44296008 | 0.0000       |
| 2000           | 2003         | 1000   | 1443            | 207        | 4.23     | 0.00001            | 51.52   | 0.859   | 0.0143 | 837500   | 0.987     | 0.939 | 585.2    | 623.0    | 4.481  | 178134.55 | 44296008 | 13.0453      |
| 2000           | 2003         | 2000   | 1439            | 216        | 8.6      | 0.00001            | 39.98   | 0.666   | 0.0111 | 837500   | 0.984     | 1.998 | 754.1    | 377.4    | 9.532  | 378961.58 | 44296008 | 21.5362      |
| 2000           | 2002         | 3000   | 1438            | 220        | 13       | 0.00001            | 28.05   | 0.468   | 0.0078 | 837500   | 0.984     | 3.077 | 1074.9   | 349.3    | 14.686 | 583862.96 | 44296008 | 23.2679      |
| 2000           | 2002         | 4000   | 1433            | 220        | 14.67    | 0.00001            | 19.87   | 0.331   | 0.0055 | 837500   | 0.981     | 3.485 | 1517.4   | 435.4    | 16.630 | 661165.80 | 44296008 | 18.6647      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2100           | 2098         | 0      | 1516            | 204        | 0        | 0.00001            | 56.11   | 0.935   | 0.0156 | 837500   | 0.990     | 0.000 | 537.3    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 44296008 | 0.0000       |
| 2100           | 2100         | 1000   | 1516            | 222        | 4.25     | 0.00001            | 45.21   | 0.754   | 0.0126 | 837500   | 0.989     | 1.010 | 666.9    | 660.2    | 4.596  | 182703.34 | 44296008 | 12.3098      |
| 2100           | 2103         | 2000   | 1508            | 228        | 8.72     | 0.00001            | 36.89   | 0.615   | 0.0102 | 837500   | 0.982     | 2.143 | 817.3    | 381.4    | 9.735  | 387038.14 | 44296008 | 21.3084      |
| 2100           | 2101         | 3000   | 1507            | 233        | 13.27    | 0.00001            | 25.15   | 0.419   | 0.0070 | 837500   | 0.983     | 3.332 | 1198.8   | 359.8    | 15.150 | 602306.25 | 44296008 | 22.5856      |
| 2100           | 2103         | 4000   | 1505            | 233        | 15.47    | 0.00001            | 17.87   | 0.298   | 0.0050 | 837500   | 0.980     | 3.893 | 1687.2   | 433.4    | 17.685 | 703094.19 | 44296008 | 18.7511      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2200           | 2205         | 0      | 1596            | 222        | 0        | 0.00001            | 55.55   | 0.926   | 0.0154 | 837500   | 0.992     | 0.000 | 542.8    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 44296008 | 0.0000       |
| 2200           | 2202         | 1000   | 1593            | 235        | 5        | 0.00001            | 40.88   | 0.681   | 0.0114 | 837500   | 0.991     | 1.255 | 737.5    | 587.5    | 5.446  | 216533.88 | 44296008 | 13.8326      |
| 2200           | 2205         | 2000   | 1590            | 242        | 8.9      | 0.00001            | 34.05   | 0.568   | 0.0095 | 837500   | 0.988     | 2.308 | 885.5    | 383.6    | 10.002 | 397660.11 | 44296008 | 21.1879      |
| 2200           | 2207         | 3000   | 1588            | 244        | 13.56    | 0.00001            | 20.05   | 0.334   | 0.0056 | 837500   | 0.986     | 3.554 | 1503.7   | 423.1    | 15.385 | 611649.74 | 44296008 | 19.2074      |
| 2200           | 2202         | 4000   | 1575            | 246        | 15.45    | 0.00001            | 16.99   | 0.283   | 0.0047 | 837500   | 0.980     | 4.107 | 1774.6   | 432.1    | 17.819 | 708413.47 | 44296008 | 18.8082      |

Tabel Performa Bahan Bakar Biosolar

| Putaran Engine |              | Beban  | Putaran Alumina | Alternator |          | Volume Bahan Bakar | Waktu   | Waktu   | Waktu  | Densitas | Efisiensi Slip | Daya  | FCR (mf) | SFOC     | Torsi  | BMEP      | LHV      | Eff. Thermal |
|----------------|--------------|--------|-----------------|------------|----------|--------------------|---------|---------|--------|----------|----------------|-------|----------|----------|--------|-----------|----------|--------------|
| (rpm) kontrol  | (rpm) aktual |        |                 | Tegangan   | Arus     |                    |         |         |        |          |                |       |          |          |        |           |          |              |
|                |              | (watt) | (rpm)           | (volt)     | (ampere) | (m3)               | (detik) | (menit) | (jam)  | (gr/m3)  |                | (kw)  | (gr/h)   | (gr/kwh) | (Nm)   | (N/m2)    | (J/Kg)   | (%)          |
| 1800           | 1805         | 0      | 1303            | 148        | 0        | 0.00001            | 84      | 1.400   | 0.0233 | 847800   | 0.989          | 0.000 | 363.3    | 0        | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 1800           | 1804         | 1000   | 1302            | 176        | 3.73     | 0.00001            | 71      | 1.183   | 0.0197 | 847800   | 0.989          | 0.703 | 429.9    | 611.5    | 3.723  | 148346.8  | 43935909 | 13.3997      |
| 1800           | 1804         | 2000   | 1298            | 188        | 7.81     | 0.00001            | 54      | 0.900   | 0.0150 | 847800   | 0.986          | 1.577 | 565.2    | 358.4    | 8.353  | 332814.3  | 43935909 | 22.8641      |
| 1800           | 1800         | 3000   | 1290            | 191        | 11.88    | 0.00001            | 38      | 0.633   | 0.0106 | 847800   | 0.982          | 2.447 | 803.2    | 328.2    | 12.988 | 516373.4  | 43935909 | 24.9635      |
| 1800           | 1801         | 4000   | 1291            | 192        | 13.88    | 0.00001            | 29      | 0.483   | 0.0081 | 847800   | 0.982          | 2.873 | 1052.4   | 366.3    | 15.243 | 606330.5  | 43935909 | 22.3700      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |                |       |          |          |        |           |          |              |
| 1900           | 1905         | 0      | 1378            | 172        | 0        | 0.00001            | 74      | 1.233   | 0.0206 | 847800   | 0.991          | 0.000 | 412.4    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 1900           | 1904         | 1000   | 1374            | 191        | 3.91     | 0.00001            | 62      | 1.033   | 0.0172 | 847800   | 0.989          | 0.800 | 492.3    | 615.5    | 4.013  | 159897.1  | 43935909 | 13.3129      |
| 1900           | 1902         | 2000   | 1369            | 201        | 8.1      | 0.00001            | 48      | 0.800   | 0.0133 | 847800   | 0.986          | 1.748 | 635.9    | 363.7    | 8.782  | 349492.9  | 43935909 | 22.5278      |
| 1900           | 1902         | 3000   | 1365            | 206        | 12.36    | 0.00001            | 33      | 0.550   | 0.0092 | 847800   | 0.983          | 2.742 | 924.9    | 337.3    | 13.774 | 548168.1  | 43935909 | 24.2922      |
| 1900           | 1905         | 4000   | 1365            | 205        | 14.41    | 0.00001            | 26      | 0.433   | 0.0072 | 847800   | 0.982          | 3.186 | 1173.9   | 368.4    | 15.980 | 636986.7  | 43935909 | 22.2404      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |                |       |          |          |        |           |          |              |
| 2000           | 2001         | 0      | 1454            | 186        | 0        | 0.00001            | 63      | 1.050   | 0.0175 | 847800   | 0.995          | 0.000 | 484.5    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2000           | 2004         | 1000   | 1453            | 209        | 4.08     | 0.00001            | 53      | 0.883   | 0.0147 | 847800   | 0.993          | 0.909 | 575.9    | 633.5    | 4.333  | 172628.4  | 43935909 | 12.9332      |
| 2000           | 1995         | 2000   | 1443            | 217        | 8.42     | 0.00001            | 42      | 0.700   | 0.0117 | 847800   | 0.991          | 1.952 | 726.7    | 372.2    | 9.350  | 370785.0  | 43935909 | 22.0134      |
| 2000           | 2002         | 3000   | 1433            | 219        | 12.75    | 0.00001            | 30      | 0.500   | 0.0083 | 847800   | 0.981          | 3.015 | 1017.4   | 337.4    | 14.388 | 572592.9  | 43935909 | 24.2819      |
| 2000           | 2001         | 4000   | 1428            | 220        | 14.92    | 0.00001            | 22      | 0.367   | 0.0061 | 847800   | 0.978          | 3.555 | 1387.3   | 390.3    | 16.973 | 675125.0  | 43935909 | 20.9953      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |                |       |          |          |        |           |          |              |
| 2100           | 2105         | 0      | 1511            | 208        | 0        | 0.00001            | 58      | 0.967   | 0.0161 | 847800   | 0.988          | 0.000 | 526.2    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2100           | 2105         | 1000   | 1518            | 223        | 4.25     | 0.00001            | 47      | 0.783   | 0.0131 | 847800   | 0.981          | 1.023 | 649.4    | 634.7    | 4.644  | 185061.9  | 43935909 | 12.9098      |
| 2100           | 2105         | 2000   | 1507            | 229        | 8.69     | 0.00001            | 39      | 0.650   | 0.0108 | 847800   | 0.981          | 2.148 | 782.6    | 364.3    | 9.751  | 388578.3  | 43935909 | 22.4931      |
| 2100           | 2102         | 3000   | 1507            | 234        | 13.24    | 0.00001            | 27      | 0.450   | 0.0075 | 847800   | 0.981          | 3.344 | 1130.4   | 338.0    | 15.201 | 604901.3  | 43935909 | 24.2412      |
| 2100           | 2100         | 4000   | 1505            | 233        | 15.43    | 0.00001            | 20      | 0.333   | 0.0056 | 847800   | 0.982          | 3.877 | 1526.0   | 393.6    | 17.639 | 701276.2  | 43935909 | 20.8173      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |                |       |          |          |        |           |          |              |
| 2200           | 2199         | 0      | 1589            | 223        | 0        | 0.00001            | 57.55   | 0.959   | 0.0160 | 847800   | 0.990          | 0.000 | 530.3    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2200           | 2198         | 1000   | 1587            | 237        | 4.4      | 0.00001            | 42.88   | 0.715   | 0.0119 | 847800   | 0.989          | 1.116 | 711.8    | 637.7    | 4.852  | 192722.70 | 43935909 | 12.8498      |
| 2200           | 2201         | 2000   | 1584            | 244        | 9.02     | 0.00001            | 36.05   | 0.601   | 0.0100 | 847800   | 0.986          | 2.364 | 846.6    | 358.2    | 10.260 | 408077.19 | 43935909 | 22.8748      |
| 2200           | 2195         | 3000   | 1576            | 246        | 13.67    | 0.00001            | 22.05   | 0.368   | 0.0061 | 847800   | 0.984          | 3.620 | 1384.2   | 382.4    | 15.756 | 624975.55 | 43935909 | 21.4279      |
| 2200           | 2203         | 4000   | 1576            | 246        | 15.95    | 0.00001            | 18.99   | 0.317   | 0.0053 | 847800   | 0.980          | 4.239 | 1607.2   | 379.2    | 18.384 | 731872.07 | 43935909 | 21.6107      |

Tabel Performa Bahan Bakar B20



| Putaran Engine |              | Beban  | Putaran Alumina | Alternator |          | Volume Bahan Bakar | Waktu   | Waktu   | Waktu  | Densitas | Efisiensi | Daya  | FCR (mf) | SFOC     | Torsi  | BMEP      | LHV      | Eff. Thermal |
|----------------|--------------|--------|-----------------|------------|----------|--------------------|---------|---------|--------|----------|-----------|-------|----------|----------|--------|-----------|----------|--------------|
| (rpm) kontrol  | (rpm) aktual |        |                 | Tegangan   | Arus     |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
|                |              | (watt) | (rpm)           | (volt)     | (ampere) | (m3)               | (detik) | (menit) | (jam)  | (gr/m3)  | Slip      | (kw)  | (gr/h)   | (gr/kwh) | (Nm)   | (N/m2)    | (J/Kg)   | (%)          |
| 1800           | 1798         | 0      | 1302            | 157        | 0        | 0.00001            | 88.79   | 1.480   | 0.0247 | 847800   | 0.992     | 0.000 | 343.7    | 0        | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 1800           | 1796         | 1000   | 1316            | 179        | 3.75     | 0.00001            | 68.9    | 1.148   | 0.0191 | 847800   | 1.004     | 0.708 | 443.0    | 625.7    | 3.766  | 149405.3  | 43935909 | 13.0962      |
| 1800           | 1799         | 2000   | 1298            | 188        | 7.78     | 0.00001            | 49.52   | 0.825   | 0.0138 | 847800   | 0.988     | 1.567 | 616.3    | 393.4    | 8.321  | 330617.0  | 43935909 | 20.8288      |
| 1800           | 1803         | 3000   | 1296            | 192        | 11.88    | 0.00001            | 36.59   | 0.610   | 0.0102 | 847800   | 0.985     | 2.453 | 834.1    | 340.1    | 12.996 | 517534.9  | 43935909 | 24.0913      |
| 1800           | 1802         | 4000   | 1283            | 190        | 13.78    | 0.00001            | 27.52   | 0.459   | 0.0076 | 847800   | 0.975     | 2.842 | 1109.0   | 390.2    | 15.069 | 599738.9  | 43935909 | 20.9976      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 1900           | 1900         | 0      | 1370            | 163        | 0        | 0.00001            | 87.21   | 1.454   | 0.0242 | 847800   | 0.988     | 0.000 | 350.0    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 1900           | 1900         | 1000   | 1375            | 189        | 3.88     | 0.00001            | 62.21   | 1.037   | 0.0173 | 847800   | 0.991     | 0.783 | 490.6    | 626.5    | 3.938  | 156565.0  | 43935909 | 13.0796      |
| 1900           | 1902         | 2000   | 1367            | 200        | 8.08     | 0.00001            | 48.87   | 0.815   | 0.0136 | 847800   | 0.985     | 1.738 | 624.5    | 359.4    | 8.729  | 347403.0  | 43935909 | 22.7990      |
| 1900           | 1904         | 3000   | 1371            | 207        | 12.37    | 0.00001            | 32.25   | 0.538   | 0.0090 | 847800   | 0.986     | 2.748 | 946.4    | 344.3    | 13.791 | 549439.3  | 43935909 | 23.7952      |
| 1900           | 1904         | 4000   | 1367            | 206        | 14.4     | 0.00001            | 28.11   | 0.469   | 0.0078 | 847800   | 0.984     | 3.193 | 1085.8   | 340.0    | 16.023 | 638378.6  | 43935909 | 24.0979      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2000           | 2005         | 0      | 1453            | 191        | 0        | 0.00001            | 86.07   | 1.435   | 0.0239 | 847800   | 0.993     | 0.000 | 354.6    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2000           | 1997         | 1000   | 1446            | 208        | 4.08     | 0.00001            | 55.05   | 0.918   | 0.0153 | 847800   | 0.992     | 0.906 | 554.4    | 612.1    | 4.334  | 172031.1  | 43935909 | 13.3869      |
| 2000           | 2004         | 2000   | 1444            | 217        | 8.43     | 0.00001            | 44.95   | 0.749   | 0.0125 | 847800   | 0.987     | 1.962 | 679.0    | 346.1    | 9.354  | 372641.8  | 43935909 | 23.6776      |
| 2000           | 2001         | 3000   | 1436            | 221        | 12.82    | 0.00001            | 30.06   | 0.501   | 0.0084 | 847800   | 0.983     | 3.051 | 1015.3   | 332.8    | 14.569 | 579491.0  | 43935909 | 24.6236      |
| 2000           | 2002         | 4000   | 1438            | 221        | 14.97    | 0.00001            | 26.12   | 0.435   | 0.0073 | 847800   | 0.984     | 3.560 | 1168.5   | 328.2    | 16.988 | 676072.1  | 43935909 | 24.9622      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2100           | 2104         | 0      | 1522            | 213        | 0        | 0.00001            | 82.12   | 1.369   | 0.0228 | 847800   | 0.986     | 0.000 | 371.7    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2100           | 2099         | 1000   | 1514            | 223        | 4.25     | 0.00001            | 50.06   | 0.834   | 0.0139 | 847800   | 0.985     | 1.019 | 609.7    | 598.4    | 4.638  | 184289.9  | 43935909 | 13.6930      |
| 2100           | 2098         | 2000   | 1509            | 230        | 8.72     | 0.00001            | 41.55   | 0.693   | 0.0115 | 847800   | 0.983     | 2.161 | 734.6    | 339.9    | 9.840  | 390838.9  | 43935909 | 24.1032      |
| 2100           | 2100         | 3000   | 1505            | 234        | 13.25    | 0.00001            | 27.12   | 0.452   | 0.0075 | 847800   | 0.981     | 3.348 | 1125.4   | 336.1    | 15.232 | 605587.0  | 43935909 | 24.3765      |
| 2100           | 2104         | 4000   | 1503            | 234        | 15.46    | 0.00001            | 24.04   | 0.401   | 0.0067 | 847800   | 0.979     | 3.914 | 1269.6   | 324.4    | 17.773 | 707940.2  | 43935909 | 25.2602      |
|                |              |        |                 |            |          |                    |         |         |        |          |           |       |          |          |        |           |          |              |
| 2200           | 2199         | 0      | 1589            | 229        | 0        | 0.00001            | 51.93   | 0.866   | 0.0144 | 847800   | 0.990     | 0.000 | 587.7    | 0.0      | 0.000  | 0.00      | 43935909 | 0.0000       |
| 2200           | 2202         | 1000   | 1591            | 239        | 4.41     | 0.00001            | 45.36   | 0.756   | 0.0126 | 847800   | 0.990     | 1.127 | 672.9    | 596.8    | 4.892  | 194654.62 | 43935909 | 13.7292      |
| 2200           | 2198         | 2000   | 1581            | 245        | 9.02     | 0.00001            | 37.45   | 0.624   | 0.0104 | 847800   | 0.985     | 2.374 | 815.0    | 343.2    | 10.321 | 409967.60 | 43935909 | 23.8732      |
| 2200           | 2198         | 3000   | 1579            | 248        | 13.71    | 0.00001            | 25.54   | 0.426   | 0.0071 | 847800   | 0.984     | 3.658 | 1195.0   | 326.7    | 15.900 | 631561.70 | 43935909 | 25.0810      |
| 2200           | 2201         | 4000   | 1575            | 248        | 15.98    | 0.00001            | 21.57   | 0.360   | 0.0060 | 847800   | 0.980     | 4.280 | 1415.0   | 330.6    | 18.580 | 739007.82 | 43935909 | 24.7861      |

Tabel Performa Bahan Bakar B20

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



Penulis bernama lengkap Benjamin Fernando UGT Harianja, lahir di Medan, Sumatra Utara pada tanggal 15 Januari 1997 merupakan anak bungsu dari 5 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa kota diantaranya SD Yos Sudarso Batam, SMP ST. Thomas 4 Medan, SMA ST. Thomas 1 Medan dan melanjutkan ke jenjang S1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa aktif dengan NRP 4214100049. Pada tahun keempat penulis mengambil konsentrasi bidang studi *Marine Power Plant* (MPP). Selama dibangku perkuliahan penulis aktif mengikuti beberapa Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM), organisasi maupun kepanitiaan di lingkup ITS dalam bidang maritim dan perminyakan. Penulis juga terdaftar sebagai member dari SPE ITS (*Society of Petroleum Engineers*). Selain itu penulis juga

mengikuti beberapa pelatihan seperti “*Training Course of Marine Corrosion and Coating Engineering*” serta melaksanakan beberapa kali kerja praktek, yang pertama dilaksanakan di PT. Adiluhung Saranasegara Indonesia selama sebulan dalam bidang Produksi Bangunan Kapal Baru dan yang kedua dilaksanakan di CNOOC SES Ltd selama sebulan dalam bagian LiMO (*Lifting and Marine Operation*). Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium *Marine Power Plant* dan *Workshop Marine Power Plant*.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar – besarnya atas terselesaikannya skripsi ini, semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat dan mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan. Penulis juga sadar, bahwa penulis tak luput dari kekurangan oleh karena itu untuk kritik, saran dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui *email* benjaminharianja@gmail.com.

